

§ 5 自動設計機能(DLS)

TOLES では一次等式、一次不等式の条件下で二次形式を最小化するという奥平定男氏 (ref. 5) によって提案された活性制約法(active set method)を D. L. S(Damped Least Square) 法に応用しているが、user も計算機内で用いられている方法がある程度知っている必要があるため、まず概説を行うこととする。

§ 5-1 概説

光学系の parameter 内で可変な独立 parameter を $(x_j; j=1, n)$ とし、その状態において設計者が選択した評価を $(F_i; i=1, m)$ 、その評価に対する weight を $(W_i; i=1, m)$ 、目標値を $(F_{iT}; i=1, m)$ とし、系全体の評価関数(total performance function)として数式展開が簡単な

$$\phi = \sum_{i=1}^m W_i (F_i - F_{iT})^2 \quad (5-1)$$

を作る。以上により、これからの目的はこの ϕ を最小にする parameter $(x_j; j=1, n)$ を求めることであるが、実際の光学系では n は非常に大きく (triplet で $n \sim 20$ 、zoom lens では $n \sim 100$)、 ϕ の変数への依存性は極めて複雑である (parameter 間の従属性が強く非線型性が激しい) ために、実用的な方法としては逐次近似による以外に現在では方法はない。逐次近似とは現地点 $(x_j = x_{j0}; j=1, n)$ (今後 P 点と呼ぶ) における情報から次の better と予想される地点 $(x_j = x_{j0} + \Delta x_j; j=1, n)$ (今後 Q 点と呼ぶ) を得て、それを繰り返す方法である。この時 Q 点へ移動する時の予測の材料としては、Q が P の線形近似範囲内にあると仮定して、Taylor 展開の第 1 近似

$$F_i = F_{i0} + \sum_{j=1}^n A_{ij} \Delta x_j \quad (5-2)$$

を用いる。ただし、 F_{i0} は現地点 P での値であり、又

$$A_{ij} = \frac{\partial F_i}{\partial x_j} \quad (5-3)$$

であり、変化係数とか A-係数とか呼ばれている。P 点における一次微分は、有限差分

$$A_{ij} = \frac{\partial F_i}{\partial x_j} = \lim_{\varepsilon_j \rightarrow 0} \left\{ F_i(x_{10}, \dots, x_{j0} + \varepsilon_j, \dots, x_{n0}) - F_i(x_{10}, \dots, x_{j0}, \dots, x_{n0}) \right\} / \varepsilon_j \quad (5-4)$$

によって計算される。(5-2) を(5-1) に代入し最小二乗法によって ϕ を小さくしようとすると、多くの場合得られた解が線形近似の有効範囲を逸脱してほとんど役に立たないため、解の増大を押さえる目的で新たな評価として、

$$\tilde{\phi} = \sum_{i=1}^m W_i (F_i - F_{iT})^2 + \rho \sum_{j=1}^n \mu_j (\Delta x_j)^2 \quad (5-5)$$

を導入し、この $\tilde{\phi}$ を最小にすることを考える。 ρ は damping factor (減衰係数) と呼ばれ、 μ_j は各パラメータ間の dimension を調整する parameter weight である。

$\rho = \infty$ では $|\Delta x_j|$ が少しでも値を持つば $\tilde{\phi}$ が増大するため、現地点 P に止まることになるが、 ρ を少しづつ小さくすれば、系に改善の余地が

あれば、 $\tilde{\phi}$ も少しづつ減少することになる。しかしながら、ある地点 ($\rho = \rho_{opt}$) を過ぎて ρ を小さくすると線形近似の範囲を逸脱し、 $\tilde{\phi}$ は増加に転じる。これをグラフ化したものが図 5-1 である。このため次の地点 Q に移るには ρ を変えながら何度も解を得、 ϕ を計算する必要がある。

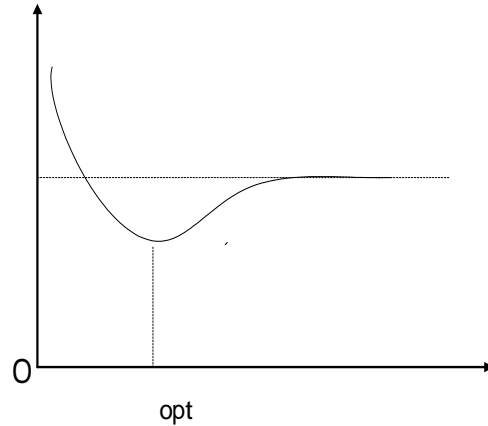


図5-1

さて、(5-1) 式の形式、すなわち W_i と F_{iT} で評価 F_i を動かすのであるが、これは間接的であるため user の期待通りに動かない時がある。このため、いくつかの評価 $\{F_s; s=m+1, m+k\}$ は P 点から Q 点への移動に際し、

$$\sum_{j=1}^n A_{m+s,j} \Delta x_j = F_{(m+s)T} - F_{(m+s)0} \quad ;(s=1,k) \quad (5-6)$$

の条件下で移動することにする。このような制限条件下での極値問題の解は、L. U. M. (Lagrange' s Undetermined Multiplier : ラグランジの未定乗数) を用いれば容易に得られる。数学的には、 ρ が与えられた時

$$\hat{\phi} = \sum_{i=1}^m W_i \left(F_{i0} + \sum_{j=1}^n A_{ij} \Delta x_j - F_{iT} \right)^2 + \rho \sum_{j=1}^n \mu_j (\Delta x_j)^2 + 2 \sum_{s=1}^k \lambda_s \left\{ \sum_{j=1}^n A_{m+s,j} \Delta x_j - (F_{(m+s)T} - F_{(m+s)0}) \right\} \quad (5-7)$$

を作り、 $\{\Delta x_j; j=1, n\}, \{\lambda_s; s=1, k\}$ を独立変数として $\hat{\phi}$ が停留値を取る条件を求めることになる。 λ_s が L. U. M. と呼ばれるものであり、 Σ 記号の前の 2 は後の都合でつけたものである。まず $\hat{\phi}$ を $\Delta x_p, \lambda_q$ で微分すれば

$$\frac{\partial \hat{\phi}}{\partial (\Delta x_p)} = 2 \sum_{i=1}^m A_{ip} W_i \left(F_{i0} + \sum_{j=1}^n A_{ij} \Delta x_j - F_{iT} \right) + \rho \mu_p \Delta x_p + 2 \sum_{s=1}^k \lambda_s A_{m+s,p} \quad (5-8)$$

$$\frac{\partial \hat{\phi}}{\partial \lambda_q} = \sum_{j=1}^n A_{m+q,j} \Delta x_j - (F_{(m+q)T} - F_{(m+q)0}) \quad (5-9)$$

が得られるが、 λ_s の記号を変え

$$\Delta x_{n+p} = \lambda_p \quad ; \quad p = 1, k$$

と書き、 δ_{ij} を Kroneker's delta ($\delta_{ij} = 1$ when $i=j$, $\delta_{ij} = 0$ when $i \neq j$) とした時

$$\mu_p \Delta x_p = \sum_{j=1}^m \delta_{jp} \mu_j \Delta x_j$$

と表現出来る事を利用して、新たな matrix として $M_{pj} = \sum_{i=1}^m W_i A_{ip} A_{ij} + \rho \delta_{pj} \mu_j$
: (when $p, j \leq n$)

$$M_{n+s,j} = A_{m+s,p} \quad : (s = 1 \sim k, j = 1 \sim n)$$

$$M_{j,n+s} = A_{m+s,j} \quad : (s = 1 \sim k, j = 1 \sim n)$$

$$M_{ij} = 0 \quad : (i > n, j > n) \quad (5-10)$$

なる $[(n+k) \times (n+k)]$ の matrix を作り、さらに

$$H_p = \sum_{i=1}^m W_i A_{ip} (F_{iT} - F_{i0}) \quad : (p \leq n)$$

$$H_{n+s} = F_{(m+s)T} - F_{(m+s)0} \quad : (s = 1 \sim k) \quad (5-11)$$

なる $(n+k)$ 個の成分を持つ vector を作れば、(5-8)式、(5-9)式は一本の方程式

$$\sum M_{pj} \Delta x_j = H_p \quad (5-12)$$

で与えられることになる。 M_{pj} は(5-10)式の第一式において、 n 行までの対角部分に正値が与えられているため、少なくとも階数(rank)は n を持つ。すなわち、(5-9)式で与えられる一次式に矛盾がなければ解が存在することになる。この解法はG. Spencer (ref. 13)によって与えられたものであるが一次等式の矛盾に弱いという欠点を持つ。これに対しては等式ではなく収差を領域で指定すればある程度矛盾に対して強くなる。

ある種の収差(例えば distortion)や大部分の境界条件は特定の数値を持つ必要はなく、ある領域内に存在すれば十分である場合が多い。このようなものに対しては等式ではなく、

$$\sum_{j=1}^n A_{sj} \Delta x_j \leq b_s \quad ; \quad s=m+k+1, m+k+h \quad (5-13)$$

の形式で制御されるべきである。このようにした場合の問題は、式(5-5)、(5-13)の条件下で(5-4)式を最小化することになるが、その解法は良く研究されており、現在は有効制約法(active set method)が多く用いられている(ref. 4、今野浩:「線形計画法」§12.3、日科技連、1987)。この方法の細かい説明は専門書に譲るとし概略を説明すれば、まず(5-13)を無視し、(5-6)の束縛条件下で(5-5)の停留条件すなわち(5-12)を解く。その後その解によって(5-13)を調べ、不成立のものを(5-6)の形式すなわち等式とし、再び(5-12)を解く。これを繰り返せばすべての(5-13)を満たせるが、この時本来等式にする必要のない式まで等式として採用していることが起こる。ここでKuhn-Tuckerの定理を用いれば、不必要な等式に対するL.U.M.は負であることが証明されているため、今度は等式の数減ずる。このようにして(5-13)がすべて満たされ、かつ等式に変更した方程式に対するL.U.M.がすべて正になるまでこれを繰り返す方式が活性制約法である。

これまでは変数としては独立変数のみを取扱って来たが、lensの焦点距離を所定の値にするためにbendingを行ったり、zoom方程式を解いて可動間隔を決めたりすると、それらのparameterは独立parameterの従属変数となるが、これを放置するとこれらの変数の動きが大きく動きすぎる場合がある。そのため、これら従属変数を($\Delta y_s; s=1, p$)とした時、独立変数との関係を求め

$$\Delta y_s = \sum_{j=1}^n V_{sj} \Delta x_j \quad ; \quad s=1, p \quad (5-14)$$

とする。この V_{sj} は A -係数を計算する時従属変数の今の値と元の値との差をとれば容易に得られる。そこで(5-4)式に従属変数を抑制する項を附加すれば

$$\begin{aligned}\hat{\phi} &= \phi + \rho \left\{ \sum_{j=1}^p \mu_j (\Delta x_j)^2 + \sum_{s=1}^p \alpha_s (\Delta y_s)^2 \right\} \\ &= \phi + \rho \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n K_{ij} \Delta x_i \Delta x_j\end{aligned}\tag{5-15}$$

が得られる。ただし、

$$K_{ij} = \sum_{s=1}^p \alpha_s V_{si} V_{sj} + \delta_{ij} \mu_j\tag{5-16}$$

である。従属変数が bending された曲率に対応した時、 α_s が DCTCHG-Tab9 の PWGBND で与えられるものである。この場合の (5-10) 式は $p, j \leq n$ に対して

$$M_{pj} = \sum_{i=1}^m W_i A_{ip} A_{ij} + \rho \left(\delta_{pj} \mu_j + \sum_{s=1}^p \alpha_s V_{si} V_{sj} \right)\tag{5-17}$$

となること以外はすべて同じである。

§5-2 概説に基づく入力 parameter の説明

本節ではいくつかの連繫した parameter の説明を行うが、具体的な変更は DCTCHG の中に含まれているため、これ等と一緒に見ると理解が容易である。しかし、後で dialog を示しながら再び parameter の説明を行う。

§5-2-1 iteration 回数

A_{ij} を計算し、最適 damping factor ρ_{opt} を得て P 点から Q 点に移動することを one-iteration と呼び、この回数を指示するものが KEND であり、従来は 3～4 程度を用いていたが、計算機の高速化に伴い 10～30 で行うようになってきた。この値としては最大 9999 が指定可能である。

§5-2-2 可変 parameter について

可変 parameter (Pg: parameter group の略) としては現在、

- | | | | |
|--------|---------|---|--------------------------|
| (Pg-1) | : IR | : | R (toric 面は R_y に対応) |
| (Pg-2) | : ID | : | D |
| (Pg-3) | : IRCYL | : | toric 面の R_z |
| (Pg-4) | : | : | 変型 toric 面の巾級数展開係数 |
| (Pg-5) | : KONIC | : | 円錐係数 |

(Pg-6)	:	IN	:	N_d
(Pg-7)	:		:	v_d
(Pg-9)	:		:	Zernike 関数によって曲面が表現されたときの係数
(Pg-10)	:		:	DOE に於ける位相飛び関数の各係数
(Pg-11)	:		:	Anamorphic 曲面の形状係数
(Pg-12)	:		:	NHOSE=non-zero に対応した自由曲面展開係数
(Pg-13)	:		:	偏芯があったときその shift 量と X-軸の方向
(Pg-14)	:		:	屈折率分布媒質の展開係数
(Pg-15)	:	IPTPCH	:	NZMEQ=4 の時 zoom lens の可変間隔
(Pg-16)	:	KCPLCH	:	NZMEQ=4 の時互いに couple された群間隔
(Pg-17)	:	KALTCH	:	NZMEQ=1 の時の 3 間隔の和
(Pg-18)	:	KFBCH	:	NZMEQ=1 の時の Fb
(Pg-19)	:	KOBJCH	:	物体距離

の 19 種が用意され、それぞれの parameter に対する A_{ij} が (5-3) 式を用いて計算されている。この時、変数の増し分 ϵ_j としてどのような値を用いるかが問題となるが、長さを単位とする変数 (Pg-2) , (Pg-13) の shift、(Pg-16)~(Pg-19) に対しては DDINC を用い、屈折率の直接的な変数 (Pg-6)、(Pg-7) に対しては DNINC を用いる。それ以外の面の形状に対する変数に対しては変数自身の生の値に対する変化ではなく、端厚変化量 ϵ_j を与え、それに対応した曲率変化や係数の変化 Δx_j を内部で計算し、 ΔF_i を求めることになる。

さて、以上の parameter を可変にするかどうかは user が指示することになるが、この説明は §5-3-3、§5-3-4 で行う。

§5-2-3 damping factor ρ

A-係数が求まったならば次に best damping factor ρ_{opt} を求めることになる。まず最初の ρ として user が与えた SDAMP ($\rho=0.1$) で ϕ を計算し、もしも ray miss (評価光束が光学系で全反射を起こすか、または面との交点が存在しない時) が起こらなければ、この ρ を DCOF3 倍 ($\rho=0.3$) して計算し、もし起これば DCOF10 倍して計算することになる。すなわち DCOF3, DCOF10 なる parameter は damping search における small pitch と large pitch に対応している。実際には ρ の大きい方 (DCOF3 倍) と小さい方 (DCOF3 分の 1) に NRFS DP 回だけ探索し、その内の best のものを start にする。次に ray miss の発生しない ρ が得られたならば、 ρ を増やすか減らすかを内部で判断し次の ϕ を求めることになる。この手続きを繰り返し、極小値を通過したならば ϕ を

$$\phi = A + B\rho^2 + C/\rho^2 \quad (5-18)$$

によって近似し、 ρ_{OPT} を求めることになる。以上のように ρ は DCOF3, DCOF10 による対数 pitch で得られるため DCOF3, DCOF10 は 1 以上でなければならず、小さい値を入れれば計算時間は長いが ρ_{OPT} の良い値が得られ、大きい値を入れるとその逆が起こる。また、DCOF3 の値が大きいと (5-18) 式で得た ρ_{OPT} が必ずしも現実の best でないことがあり、この時はそれまでの ρ の内で ϕ が最小になる ρ を用いる。

一方、best damp を捜さず入力した SDAMP を直接用いて解を得るときは KUSSDP を用いる。更にもう少し具体的な説明が § 5-3-5 に与えられている。

§5-2-4 μ_i について

μ_j は元来収差の二次微係数(非線形性の第一項)に由来するものであるが、(5-5)式のみ見れば変数間の感度のバラツキを調整し、各変数に変化量を均等に負担させる役割を果たしているとも見なせる。この値の計算方式は二種類用意され、最初のもは、J. Meiron[J. Opt. Soc. Amer., 47, 1104(1957)]によるもので、まず収差の dimension を合わせるために

$$K_i = \sqrt{\sum_{j=1}^M (A_{ij})^2} \quad (5-19)$$

を作り、この値で収差間を正規化した

$$\mu_j = \sum_{i=1}^m (A_{ij}/K_i)^2 \quad (5-20)$$

を変数変化の重みとしている。もう一つは変数間の従属性を考え従属性の強い変数は変化量を小さくするという考え方もできるが、そのときは

$$H_p = \sqrt{\sum \{A_{ip}/K_i\}^2}$$

として

$$\mu_j = \sum_{q=1}^N \left\{ \sum_{p=1}^N (A_{pj}/K_p) \times (A_{qj}/K_q) / H_p / H_q \right\}^2$$

によって決定する。ただし、二重和では $p=q$ は除外する。この方法を相関度による変数変化重みの決定といっている。この二つの方法の選択については § 5-3-7 で説明する。

このようにして、変数変化重みを、一旦作り、parameter 種類に応じて

- (Pg-2), (Pg-19) : PWGD
- (Pg-6) : PWGN
- (Pg-7) : PWGV

(Pg-15), (Pg-16) : PWGGKI

(Pg-17) : PWGGKT

(Pg-18) : PWGFB

上に分類されない変数 : PWGR

を乗じて最終的な重みを作る。さらに EDTPRW を選べば、個々の parameter に対する μ_j も変更出来る。

§5-2-5 boundary について

光学系に対する boundary としては、〈資料:4-1-A〉に見られるように、通し番号付きで、

(Bg-1) 軸上厚 (LBD=1)

(Bg-2) 各面における光線高の最大値 H_{\max}

(Bg-3) コバ厚

(Bg-4) H_{\max} を曲率半径で除した値

(Bg-5) 入射または屈折角の sine の最大値の自乗

(Bg-6) 各 lens の Z-基数

(Bg-7) lens 体積の総和

(Bg-8) ガラスに対する境界 (LBD=1)

の 8 種類が用意されている。

ここで使われる parameter は DCTCHG-Tab6、DCTCHG-Tab7 に存在するので必要ならば変更する。

(Bg-1) は lens 厚または間隔、すなわち $D(I)$ であるが、zoom lens の場合その間隔の最小値が boundary の値として与えられる。その最小値は絞り (LENS_CNT-Tab1 の IRIS) の前後の空気間隔に対しては ZIRIS (通常 1.5) が与えられ、それ以外は ZKMEN (通常 0.1) が与えられる。lens 厚は (Bg-4) の H_{\max} に ZDH (通常 0.1) を乗じた値を採用するが、この値が ZDLOW (通常 0.5) 以下になった時は ZDLOW を与えることになる。これらの上限は ZLMT (通常 1000.) が与えられる。さて上記のごとく下限を与えた時、その面のコバ厚を計算し、もしも不足していても下限は現状維持とする。コバ厚がとれる厚みに下限を変更したい場合は CHGLBD-option を実行する。コバ厚は間隔と曲率の関数であるが、コバ厚を大きくする時は間隔を大きくして補償する方が収差への影響が小さいため、このようになっている。また〈資料:5-3-6-A〉の最終列に level と書かれた数値があるが、この値が負ならば終始無視されることを意味する。特に指示しない場合、count される境界は D およびガラス境界のみである。

(Bg-2)は各面の光線高の最大値 H_{\max} であり、user が特に指示しなければ放置される。

(Bg-3)は H_{\max} を HHPS ([LCT-8:31~40]) から計算されるコバ厚であり、その番号の後がガラスならば ZKLA (通常 1.0) が用いられ、空気ならば ZKBI (通常 0.0:面当に対応) が用いられる。

(Bg-4)は H_{\max} を R で割った値であり、その上限として RHV が用いられる。

(Bg-5)は各面に入射するすべての光線の入射角と射出角の sine の自乗を計算しその最大値であり、下限には SINGD (通常 0.5)、上限には SINLMT (通常 0.8) が用いられる。この境界は ray miss を防ぐために大切であるため、 R が可変ならば level=0 にとられる。

(Bg-6)は lens の Z -基数と呼ばれ

$$Z = |H_1/R_1 - H_2/R_2|/2.0 \quad (5-21)$$

で定義される。ただし、 H_1 、 R_1 は前面の高さと曲率半径であり、 H_2 、 R_2 は後面のそれである。その下限は lens が両凸または両凹ならば 0.05、メニスカスならば凸凹に拘わらず 0.15 が与えられる。

(Bg-7)は lens 全体の体積であり、必要ならば boundary line で指示する。

(Bg-8)はガラス境界であり、図 7-1 の如く SF-系の境界(低分散境界)を第 1 境界とし、La-系(高分散境界)を第 2 境界とし、 N_d の上限を第 3 境界にとっている。数値は N_d 、 ν 共に 1.0 の正方形の中にガラス全体が入るように変数変換し、多項式近似された各境界までの長さを値としている。この時ガラス境界内にあれば、値は正にとっている。第 3 境界は後述 (§ 7)の VNMAX で与えられる。

境界条件の control は境界を侵した場合、その侵害量を (5-1) 式の形式の自乗和に繰り込む SUMT 流の制御と (5-13) 式の形式での制御があるが、KBDOLD=1 ならばすべての boundary は (5-1) の取扱いとなり、KBDOLD=00 ならば (Bg-1) と (Bg-8) が (5-13) で取扱われ、残りが (5-1) の形となる。

更に、これ等の境界値は収差としての取り扱いも用意されている (SYMABI-Tab8 の BDRY 収差)。

§ 5-2-6 軸外光線高の調整

軸外光束は parameter の変化と共に変化するが、これは特定の面上で特定の値になるように制御されねばならない。その値は外部から SURF_CNT-Tab1 の TAKASA が入れられた時は

その値を使い、blank の時は球面光線の高さが用いられる。例えば、§ 15-11-1 に与えられた gauss type の例題では、軸外光束は最終面の面上で球面光線と交わらねばならないし、下光線は第一面の面上で交わらなければならない。zoom lens の時は球面光線の最大値が用いられるが、NIGUN=1 の時で、且つ、その面が絞り面 (IRIS) の場合に限り、その position での球面光線の高さが用いられることになる。どの面で一致させるかは、入力時において最も近づく面が自動的に選ばれ、〈資料:4-1-D〉の最終部の LSL, LSU に書き出されている。

二つの光線を一致させるためには Lagrange 補間が用いられ、その差が 10^{-10} になれば終るようになっている。この過程は H-adjust と呼ばれる。初期設計段階で光束を大巾に変えた時には KHADJY=2 として行えば調整を一切行わないが、できる限りこの調整を行い、たとえ或る 画角で失敗してもその画角以外は調整を行い、最適化は続行する場合には KHADJY=1 として最適化を行うとよい。常に KHADJY=1 でも良いのであるが、設計者に自覚を促す意味でこのようにしてある。

§ 5-3 DLS 制御 parameter の変更

§ 3-2 で説明した通り lens data に続き 11 行より成る DLS 制御部があり、これ等の parameter の変更は DLS-Tab4 にある DCTCHG を開けば可能である。

§ 5-3-1 全体制御

DLS --> DCTCHG : change DLS controll data

1 ITYPE revised type number OK

KEND aber. IR.ID KPTPCH damp. bndry-1 bndry-2 sol.p.-1 sol.p.-2 TLDLS

#

30 KEND : maximum executed iteration number (max.=9999)
If you want to stop optimization and go to new menu
Please click cancel on menu bar by your mouse DCTCHG_1

0 KHADJY usually pupil co-ordinate is re-adjusted when parameter in change to obtain derivative
1 : try to execute adjustment diaposal and continue optimezation even if failed
2 : completely do not execute adjustment

KPUSH_DLS : flag to wait console response at each iteration

following option is for final output after optimization and DLS_FAB option

0 MTFSP_DLS flag to compute geometrical OTF with simplified method(1=full output, 2=white only)

0 MTFSP_BEST compute OTF above at best defocus

0 MTFSPW_DLS above for diffraction counted OTF

0 MTFSPW_BEST compute OTF above at best defocus

KCOMA_DLS : flag to compute comatic aberration

KSEID_DLS : flag to compute Seidel aberration

following option for graphic display are for DLS_FAB-option(if non-zero displayed; 3=displayed only at DLS_FAB) and DEX3-option(1=display only after optimization, 2= always display at each iteration)

2	I_LFIG	lens section figure	2	I_AFIG	aberration figure
0	I_OTF3D	OTF v.s. defocus figure	0	I_OTFVSY	OTF v.s. image height Y figure

KEND : A_{ij} を計算し、 ρ_{opt} を求めそれにより、 $(\Delta x_j; j=1\sim n)$ を計算して新しい data を作る process を 1-iteration と呼ぶが、この最大回数(max.=9999)。但し、optimization の途中でも title bar の中の cancel を mouse で左クリックすれば main menu に戻る。各 iteration の R-D-N data は第 1-file (LENS.DSK) の中に stock されるのでその大きさに注意しなければならない。又、途中の iteration の data は **ROW** によって呼出し可能である。

KHADJY : § 5-2-6 で説明した通り、光束はその押さえ面 (LSL 又は LSU) 上で球面光線と交わるか、又は特定の値 (TAKASA) を持たねばならない。構成 R, D, N が変わればこの条件を満足するように、入射瞳上での高さを変更するように配慮されているが、初期設計で系が大巾に変化するような場合は、このように細かい細工はしないで一定の光束で設計したい場合もある。この場合 KHADJY=2 とすれば良い。そうすれば、入射瞳上で一定の光束により最適化を行う。その場合、現在の光束状態を変更したい時は **DLS** の main menu の 2-page 目の **modify** に行き、さらに 2-page 目の **Y** を選び、次に **PUPCHG** を選んで光束の配置を与えれば良い。KHADJY=1 とすれば可能な限り調整を行いこの調整がだめでも最適化を実行する。つまり何時も KHADJY=1 でもよいのであるが、user の認識をハッキリさせる為にこのようにしてある。

下半分は iteration 途中での出力制御である。普通、**DEX3** を選べば、断面図と収差図のみしか画面上には出ないが **I_OTF3D**, **I_OTFVSY** を 2 にしておけば各 iteration の途中でも OTF 情報を出力する。この時の計算条件は、特に何もしなければ標準数値が使われるが、これを変更したい時は **OTF3D** → **CHANGE** 又は **OTFVSY** → **CHANGE** によって適切な数値に変更して居けば、それ以後はその数値を使うことになる。**I_LFIG** ~ **I_OTFVSY** の数値は 0 ~ 3 が用意されて居り dialog 中の説明の通りである。中央部にある **MTFSP_DLS** ~ **KSEID_DLS** は iteration 終了時又は **DLS_FAB** が選ばれた時の出力を制御するものであり、dialog 中の説明を読めば理解出来るであろう。なお各種 best defocus は OTF を計算する時に用いられるだけで最適化の時には用いられない点は注意が必要である。最適化で使いたい時は **DEFCHG** 又は、各種 defocus を収差として選択する必要がある。

る。

§5-3-2 収差制御

LA, SAZR :収差の指定を三つの整数 K1, K2, K3 によって行う場合のもので今は使われない。

KHDABR : spot 収差を制御することにより、最適化を行う場合に on にする。この場合の種々の条件は **HIDCHG** で行うことになる。

KEND aber. IR, ID KPTPCH damp. bndry-1 bndry-2 sol.p.-1 sol.p.-2 TLDLS

*
2 LA : traced axial ray
0.7 SAZR : relative ray height of lowest **DCTCHG_2**
 KHDABR : flag to use spot aberration.
 MLTDEF : flag to optimize at multi-defocus number for KHDABR-aberration (DEFS,DEFP is used).
optimized at (MLTDEF+1) defocus, i.e. DEFS=-0.2,DEFP=0.05,MLTDEF=2, optimized at defocus=-0.2,-0.15,-0.1.
 LSDLS1 : start surface number for partial group occurring aberration(KHDABR only)
 LSDLS2 : last surface
0.99 CORLMT : cor-relation limit. Do not convert in-equality to equality even if
it is violated when correlation between this in-equality
and already existing equality is greater than this value.
1.0 ZKB : representative value of pitch, used when

MLTDEF : spot 収差を用いている場合に現在の defocus のみならず、他の defocus 位置でも最適化を行うこと、即ち焦点深度の深い系を目標とする場合に使用される。例えば MLTDEF=2 の場合は **DEFCHG** の DEFS と DEFS+DEFP の 2 つの defocus 上で最適化を行うことになる。

LSDLS1, LSDLS2 : §5-13 で説明されるが、光学系の一部(その部分系の始まりの面番号が LSDLS1 で終りが LSDLS2 である)で発生する SPOT 収差を最適化する場合にここにその情報を入れる。この時の収差を数値として知りたい時は **LENS** → **ITAB** と進めば得られる。

CORLMT : 概論で述べた如く不等式で制御された収差が不等式を満足しない時はそれを等式として解くと説明したが、その場合既に等式となっている

一次式との相関、即ち

$$\mu_{ij} = \sum_{\lambda=1}^m A_{i\lambda} \cdot A_{j\lambda} / \sqrt{\sum_p (A_{ip})^2} / \sqrt{\sum_p (A_{jp})^2}$$

を計算し、この値が CORLMT より大きかったらその不等式を等式に昇格させることをあきらめる。

ZKB : 収差を等号で制御する場合、一度に目標値と一致させようとすると、系に無理がかかるため、適当な pitch で進む場合があるが、その場合の代表値である。

§5-3-3 可変 parameter の指定

KEND	aber.	IR, ID	KTPCH	damp.	bndry-1	bndry-2	sol.p.-1	sol.p.-2	TLDS
*									
specify parameters to be varied or not									
IR : specify R to be varied or not (0-->fixed, 1--> varied, column no.-->surface no.)									
11111 11111									
-----+-----1-----+-----2-----+-----3-----+-----4-----+-----5-----+-----6-----+-----7-----+-----8									
ID : specify D to be varied or not (0-->fixed, 1--> varied, column no.-->space no.)									
11111111111									
-----+-----1-----+-----2-----+-----3-----+-----4-----+-----5-----+-----6-----+-----7-----+-----8									
IN : specify N to be varied or not									
0-->fixed, 1-->N,V varied, 2-->only N varied, column no.-->lens no.)									
111111									
-----+-----1-----+-----2-----+-----3-----+-----4-----+-----5-----+-----6-----+-----7-----+-----8									
<input type="checkbox"/> KFBCH : flag when back focus is treated as variable v									
<input type="checkbox"/> KALTCH : flag when three variable space sum is treated as variat									
<input type="checkbox"/> KCPLCH : flag to take coupled space(specified by [LCT-6:41~60])									
as variable.[coupled space sum change]									
<input type="checkbox"/> KOBJCH : flag to treat objective distance									
									DCTCHG_3

IR : 各面の R を可変にするかどうかを指示するもので i-番目の column に 1 があれば可変、空白又は零ならば不変である。

ID : 各面の D の可変・不変を指示し、IR と同じ

IN : 屈折率可変を指示するものであるが、i-番目の column に 1 があれば i-番目のガラスが可変となる。もし 1 の代わりに 2 があれば、Abbe 数はそのまま N_d のみが可変にされる。

KFBCH : NZMEQ=1 で back focus が可変の場合に on

KALTCH : NZMEQ=1 で 3 つの可変間隔が可変の場合に on

KCPLCH : NZMEQ=4 で、且つ LENS_CRD 4-page 目の IJCPD によって couple された 2 つ

の群の間隔が可変の場合 on

KOBJCH : 物体距離を可変にする場合 on (zoom position によって可変不変がある時は ZOOM_CRD を用いる)

§ 5-3-4 zoom 間隔可変・不変、T-aberration (KTABEX) の指定

KEND	aber.	IR, ID	IPTPCH	damp.	bndry-1	bndry-2	sol.p.-1	sol.p.-2	TLDLS	
*										
DEC	1	KPOS								DCTCHG_4
IPTPCH with format 8I1			SET_1	Set all position IPTPCH to be variable						
1			SET_0	Set all position IPTPCH to be not variable						
[][][][][][][][][]										
Give 1(variable) or 0(fix) to above box										
<input checked="" type="checkbox"/> KTABEX : flag to treat decentered aberration(T-aberration)			Full Set							
INDTL : Independent tilt with 80I1			: GOSATL							
11111 11111			TAB-1							
-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8										
KDTSE : do-o-tsuki tilt with 80I1(1=ind., 2=do-o-tsuki)			: GOSASH							
121 2 2 121			TAB-2							
-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8										
KGRTL : group tilt Is-Ie with 20(I2,I2))			: GOSATL							
1 2 3 5 7 91011			TAB-3							
-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8										
KGRSH : group shift with Is-Ie with 20(I2,I2)			: GOSASH							
1 2 3 5 7 91011			TAB-4							
-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8										

IPTPCH : zoom 可変間隔を変数とするかどうかは ZOOM_CNT-Tab2 の IPTP によって指定される。対応した position の可変間隔を変数にする場合は三段目の対応した升目(第二可変間隔ならば二升目)に1をいれ可変でなければ空白または0を入れる。

KTABEX : main option の TLDLS に於いては、偏芯下での収差が計算されるが、その時の偏芯状態を指定する。そのためにはまず KTABEX を on にし、 Full Set button を押すと上場の dialog が表れる。このデータは T-aberration にも用いられるが、それについては § 5-4-24 で説明する。

第 1 行の INDTL は各面を独立に GOSATL で与えられる角度だけ傾けることを指示し、各面に対応した column に 1 を入れれば実行される。

第 2 行目の KDTSE は lens 群が鏡胴(この偏芯は零とする)に接し、残りの面が GOSASH で与

えられるはめ合い誤差に従って tilt する組み合わせを指定するものであるが、入力形式は 80I1 とされ、胴付き面になっている面の番号に 2 を入力し、その group の反対側の面に 1 を入れる。 **Full Set** では絞り面に近い側を胴付き面としている。

第 3 行目は group として、GOSATL だけ tilt する時の組分けを指示するもので FORMAT(40I2) で 2 桁の数字 2 個でその group を指示する。ここでは各群が指定されている。

第 4 行は group として GOSASH だけ shift する組を指示するもので入力形式は第 3 行と同じである。ここで用いた GOSASH と GOSATL は **DCTCHG** の 10-page 目 **TLDLS** にある。

§ 5-3-5 最良ダンピングファクターの探索

KEND	aber.	IR, ID	IPTPCH	damp.	bndry-1	bndry-2	sol.p.-1	sol.p.-2	TLDLS
*									
<input type="checkbox"/>	K_GLDPSG : flag to search best damping with logarithmic equidistant pitch								
<input type="text" value="50"/>	N_GLDPSG : trial number of above in the initial state, so do not use SDAMP								
<input type="checkbox"/>	KUSSDP : usually best damping factor is obtained starting from SDAMP. But if KUSSDP=01, do not search and directly uses SDAMP.								
<input type="checkbox"/>	KUSPDF : flag to use best damping factor at preceding iteration as starting damping factor.								
<input type="text" value="10"/>	NRFSDP : deviation number of damping factor at final stage								
searched to bigger by factor DCOF10 and smaller by DCOF3.									
<input type="text" value="1.0"/>	SDAMP : start damping								
<input type="text" value="5.0"/>	DCOF10 : large pitch to find best damping factor								
<input type="text" value="2.0"/>	DCOF3 : small pitch of above used when ray miss occurred								

このタブは最良ダンピングファクターの探索を決定するもので、特に指示が無ければ、以下の通りの方法を採用する。

- ① ray-miss の発生しないダンピングファクタを **good_damping_factor** と名づけるならば、SDAMP を中心とした一つの **good_damping_factor** を探す。このためには SDAMP に DCOF10(デフォルト値 10.0)または DCOF3(デフォルト値 2.0)を最大 20 回掛けるか割るかをし、ray-miss の状況を調べ ray-miss が起こらなければ、これを初期ダンピングファクタと名付けておく。
- ② 次にこの初期ダンピングファクタの両側で **good_damping_factor** を求める。そのためにはこの初期ダンピングファクタに DCOF3 を掛けて光線の状態を調べ ray-miss が発生しなければそのまま、発生したときは $\sqrt{DCOF3}$ を掛け Φ を求めるが、それでもダメならば平方

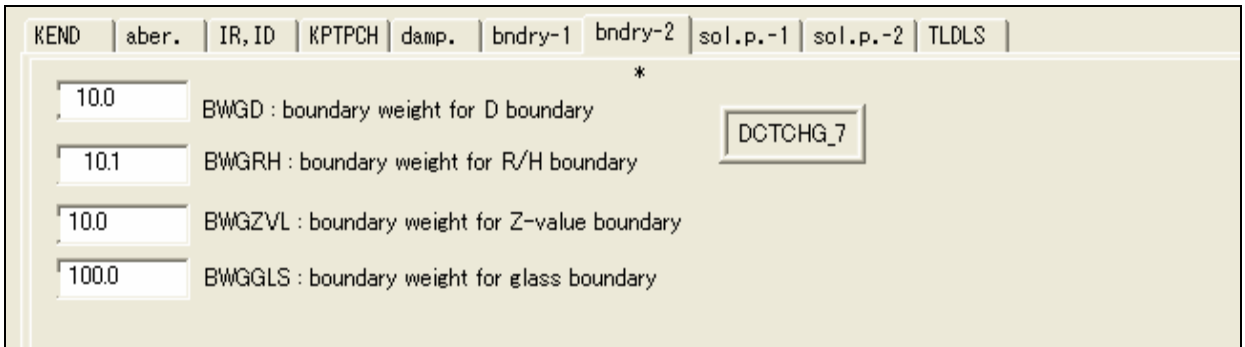
根を再び乗じてこれを繰り返す。即ち ray-miss が発生したときは相乗平均を採用して新たに調べる。この手法は③以下で ray-miss が出たときも同様である。同様に初期ダンピングファクタを DCOF3 で割って小さいほうのダンピングファクタを求める。

- ③ 以上により三つのダンピングファクタ ρ とそれに対応した ϕ が得られるがそれを次のように分類する。
 - Ⓐ ρ に対して ϕ が単調な場合は ϕ が小さくなる方向に進みⒷ又はⒸに成るまで進む。
 - Ⓑ ρ に対して ϕ が中央が窪んだ場合(谷形)は④に進む。
 - Ⓒ ρ に対して ϕ が中央が盛り上がった場合(山形)は⑤に進む。
- ④ 三つのダンピングファクタの最大と最小を NRFSDP(デフォルト値=10)分割してその最小値と両隣を二次式で近似して最適解を求める。
- ⑤ これまでの good_damping_factor のうちで ϕ を最小にする good_damping_factor によって最終解を求める。

以上の手順を変更して入力した SDAMP で直接解を求めたいときは KUSSDP を ON にすれば良い。また次の iteration で前回の最良ダンピングファクタを SDAMP として用いたいときは KUSPDF を ON にすればよい。また①の手順で SDAMP を用いずに 10**(-10)から 10**10 の間を対数的に等間隔で N_GLDPSG 分割して其のうちの ϕ が最小になるものを初期ダンピングファクタとする場合は K_GLDPSG を ON にすればよい。

§5-3-6 Boundary 制御

KEND	aber.	IR, ID	KPTPCH	damp.	bndry-1	bndry-2	sol.p.-1	sol.p.-2	TLDLS
*									
<input checked="" type="checkbox"/>	KBDEDT : flag to use screen editor to change boundary value parameter weight(DLS) and parameter boundary(TLDLS,QLDLS)								
<input type="checkbox"/>	KBDOLD : flag to treat boundary by old fashioned square sum minimum theory [SUMT-type]								
<input type="checkbox"/>	NGLTBD : flag to neglect boundary through optimization in case trial execution								
<input type="text" value="0.1"/>	ZKMEN : minimum value for lens air space								
<input type="text" value="0.5"/>	ZDLOW : absolute minimum value of D								
<input type="text" value="0.1"/>	ZDH : minimum value of D/H where D=lens central thickness' H= surface height								
<input type="text" value="1.5"/>	ZIRIS : minimum value for front and rear space for iris								
<input type="text" value="1.0"/>	ZKLA : lower boundary for lens marginal thickness								
<input type="text" value=""/>	ZKBI : lower boundary of lens marginal air space								
<input type="text" value="1000."/>	ZLMT : representative numeric for upper infinite boundary								
<input type="text" value="0.8"/>	RHU : upper boundary for absolute of H/R								
<input type="text" value="0.8"/>	SINLMT : if maximum square of sine of incident or refracted angle at certain surface exceed this value program guards not to exceed this value' (0.99 when KBDOLD=00, 0.8 when KBDOLD=01).								
<input type="text" value="10."/>	BWGSIN : boundary weight of above boundary								



§5-2-5で説明した Boundary の上下境界値の代表値である。KBEDT が on の時は DLS → EDTBDR と進めば<資料:5-3-6-A>が screen に現れ、各 Boundary の制御を editor で修正出来るようになる。この場合 V6.0 以降では weight、ISLT は不要であり、lower、upper、LBD のみが必要である。LBD は boundary level を意味し、この値が負の時は無視されるように program されている。その横の A は parameter 可変、不変に従って自動的に level が変更されることを意味している。つまり現状では D と N のみが取扱われていることになる。一番右側の 1 は異種 lens と同時設計した場合の type 番号であり、普通は使われない。

<資料:5-3-6-A>

```

1:
2:   name of this file= QUAPBD.CHG
3:   level of A-specified boundary is decided by parameter nature
4:   last numeric is type number used by program
5:
6:   ( 1-st type ) axial width of the lens
7:
8:   value      lower      upper      weight  ISLT  LBD
9: ( 1)  D( 1)    3.0000    2.0454 1000.0000 10.0000 2  0 A 1
10: ( 2)  D( 2)    0.0000    0.1000 1000.0000 10.0000 2  0 A 1
11: ( 3)  D( 3)    3.0000    2.0028 1000.0000 10.0000 2  0 A 1
12: ( 4)  D( 4)    1.0000    0.8441 1000.0000 10.0000 2  0 A 1
13: ( 5)  D( 5)    3.0000    2.1542 1000.0000 10.0000 2  0 A 1
14: ( 6)  D( 6)    3.0000    2.1232 1000.0000 10.0000 2  0 A 1
15: ( 7)  D( 7)    1.0000    0.7888 1000.0000 10.0000 2  0 A 1
16: ( 8)  D( 8)    3.0000    1.8475 1000.0000 10.0000 2  0 A 1
17: ( 9)  D( 9)    0.0000    0.1000 1000.0000 10.0000 2  0 A 1
18: (10)  D(10)    3.0000    1.8213 1000.0000 10.0000 2  0 A 1
19:
20:   ( 1-st type ) maximum ray height
21:
22:   value      lower      upper      weight  ISLT  LBD
23: (11)  MAXH( 1)  8.9211    0.0000 1000.0000 10.0000 2 -1  1
24: (12)  MAXH( 2)  8.7851    0.0000 1000.0000 10.0000 2 -1  1
25: (13)  MAXH( 3)  8.7135    0.0000 1000.0000 10.0000 2 -1  1
26: (14)  MAXH( 4)  8.4414    0.0000 1000.0000 10.0000 2 -1  1
27:
28:
29:
30:
31:
32:
33:
34:
35:
36:
37:
38:
39:
40:
41:
42:
43:
44:
45:
46:
47:
48:
49:
50:
51:
52:
53:
54:
55:
56:
57:
58:
59:
60:
61:
62:
63:
64:
65:
66:
67:
68:
69:
70:
71:
72:
73:
74:
75:
76:
77:
78:
79:
80:
81:
82:
83:
84:
85:   value      lower      upper      weight  ISLT  LBD
86: (60)  TOTVOL    2.8878-1000.0000 1000.0000 10.0000 2 -1  1
87:
88:   ( 1-st type ) glass boundaries
89:
90:   value      lower      upper      weight  ISLT  LBD
91: Glass boundary for 1-th lens
92: (61)  G( 1)B-1  0.0125    0.0000 1000.0000 100.0000 2  1 A 1
93: (62)  G( 1)B-2  0.0290    0.0000 1000.0000 100.0000 2  1 A 1
94: (63)  G( 1)B-3  0.5673    0.0000 1000.0000 100.0000 2  0 A 1
95: Glass boundary for 2-th lens
96: (64)  G( 2)B-1  0.0125    0.0000 1000.0000 100.0000 2  1 A 1
97: (65)  G( 2)B-2  0.0290    0.0000 1000.0000 100.0000 2  1 A 1
98: (66)  G( 2)B-3  0.5673    0.0000 1000.0000 100.0000 2  0 A 1

```

```

97:          Glass boundary for 3-th lens
98: ( 67)  G( 3)B-1  0.0130  0.0000 1000.0000 100.0000  2  1  A  1
99: ( 68)  G( 3)B-2  0.4209  0.0000 1000.0000 100.0000  2  0  A  1
100: ( 69)  G( 3)B-3  0.3599  0.0000 1000.0000 100.0000  2  0  A  1
101:          Glass boundary for 4-th lens
102: ( 70)  G( 4)B-1  0.0130  0.0000 1000.0000 100.0000  2  1  A  1
103: ( 71)  G( 4)B-2  0.4209  0.0000 1000.0000 100.0000  2  0  A  1
104: ( 72)  G( 4)B-3  0.3599  0.0000 1000.0000 100.0000  2  0  A  1
105:          Glass boundary for 5-th len

```

§5-3-7 Solution Parameter

KEND | aber. | IR, ID | IPTCH | damp. | bndry-1 | bndry-2 | sol.p.-1 | sol.p.-2 | TLDLS | *

KCTLPM: flag to controll parameter movement to certain domain specified by PRMCOF, PRUNIT
PRUNIT : parameter movement unit which can be changed by PRWCHG
It is very dangerous to use equality or non-equality controll of aberration, if this option used. Especially in the initial state.
 PRMCOF: coefficient to specify allowable parameter movement domain

KSLW : in active set method simplified algorithm is used because of time economy. But if non-zero rigorous algorithm is used DCTCHG_8

LOOPAC : maximum iteration loop number for active set method
Usually solution converges within 3 or 4 iteration

After here parameter weight are treated.
If parameter weight is big, corresponding parameter movement is decreased

K_CORPWT flag for parameter weight
0=Meiron type, 1=(Meiron type)*(cor-relation type), 2=correlation type

PWGR : parameter weight for surface shape parameter
i.e. curvature or aspheric surface coef.

PWGD : lens space and width

PWGN : Nd

PWGV : Abbe number

MTXOUT : flag whether print A-matrix[$A_{ij}=dF_i/dX_j$] or not

INCOUT : flag whether print aberration increment matrix[$A_{ij}*\Delta X_j$] or not

KEND | aber. | IR, ID | IPTCH | damp. | bndry-1 | bndry-2 | sol.p.-1 | sol.p.-2 | TLDLS | *

parameter weight for zoom lens or special parameter

PWGGKI : each zoom space. This is only for NZMEQ=01,04

PWGGKT : total 3-space sum DCTCHG_9

PWGFB : Fb

PWGBND : bending executed surface

parameter increment value to generate derivative matrix

DRINC : marginal increment when to take derivative against surface shape,
i.e. curvature, aspherical coefficient etc.

DDINC : incremental value to take derivative against D

DNINC : incremental value to take derivative against N

この dialog では §5-2-2 で説明した変数 parameter に関する A-matrix の計算と §5-2-4 に於ける parameter weight μ_j に関して指示するものである。 §5-1 で述べた如く、収差は

自乗和型(第1種)、等式型(第2種)、不等式型(第3種)の三つに分かれ、第1, 2種のみを考慮して(5-12)式を解き、(5-13)を満足するかどうかを調べ、不満足なものは第2種にする。この時、不満足な不等式が複数個存在した時、その1つのみを第2種にして(5-12)式を再び解くのが理論的に正しく、この時はKSLOWをonにする。しかし時間がかかるので複数個を同時にすべて等式に昇格しても、ほとんどの場合問題がない。この(5-12)式を一回解くprocessを1-loopと呼ぶが、その最大回数をLOOPACで与えることになる。しかし通常は解が有るならば3~4回ですべて満足され、解が無ければその旨スクリーンに書き出される。K_CORPWTは§5-2-4で説明した変数重みの選択モードである。PWGR~PWGBNDは各parameterに対するweight μ_j の代表値であり、DRINC, DDINC, DNINCは微係数をとる時の増分の代表値である。更に、個々の変数の重みを変えたいときはEDTPRWを用いれば可能である。このときは内部の値に入力された値を乗ずることになる。

前節のKBEDTをonにしたままでDLS→EDTPRWと進めば<資料:5-3-7-A>のfileが現れ、内部editorによって各parameterに対するweight、増分及び長さに変換される点の位置が変更出来る。例えばR(1)ならばY=Z=6.2448の位置で面形状(即ちxの値)が0.00001だけ変化するようにR(1)を変化させ、(5-4)式の ϵ を決めるようになっている。最終列のunitはその変数の単位でparameter変化量の目安となるものである。

<資料:5-3-7-A>

```

2:  ( 1-st type ) surface curvature
3:  Be careful weight input area is only from 13 to 20-th column
4:  weight increment height-Y height-Z height-X unit
5: R( 1) 1.0000.00001000 6.2448 6.2442 0.0000 0.1000
6: R( 2) 1.0000.00001000 6.1496 6.1496 0.0000 0.1000
7: R( 3) 1.0000.00001000 6.0995 6.0995 0.0000 0.1000
8: R( 4) 1.0000.00001000 5.9090 5.9090 0.0000 0.1000
9: R( 5) 1.0000.00001000 5.7747 5.7747 0.0000 0.1000
10: R( 6) 1.0000.00001000 5.6434 5.6434 0.0000 0.1000
15: R(11) 1.0000.00001000 5.4428 5.4420 0.0000 0.1000
16: R(12) 1.0000.00001000 21.6300 0.0000 0.0000 0.1000
17:
18: ( 1-st type ) lens thickness or space
19: Be careful weight input area is only from 13 to 20-th column
20: weight increment height-Y height-Z height-X unit
21: D( 1) 10.0000.00010000 0.0000 0.0000 0.0000 0.1000
22: D( 2) 10.0000.00010000 0.0000 0.0000 0.0000 0.1000
23: D( 3) 10.0000.00010000 0.0000 0.0000 0.0000 0.1000
24: D( 4) 10.0000.00010000 0.0000 0.0000 0.0000 0.1000

31:
32: ( 1-st type ) lens index N and abbe no. V
33: Be careful weight input area is only from 13 to 20-th column
34: weight increment height-Y height-Z height-X unit
35: N( 1) 1.0000.00010000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0100
36: V( 1) 10.0000.00010000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0100

42: V( 7) 10.0000.00010000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0100
43: N( 8) 1.0000.00010000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0100
44: V( 8) 10.0000.00010000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0100
45: N(10) 1.0000.00010000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0100
46: V(10) 10.0000.00010000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0100

```


となっている。

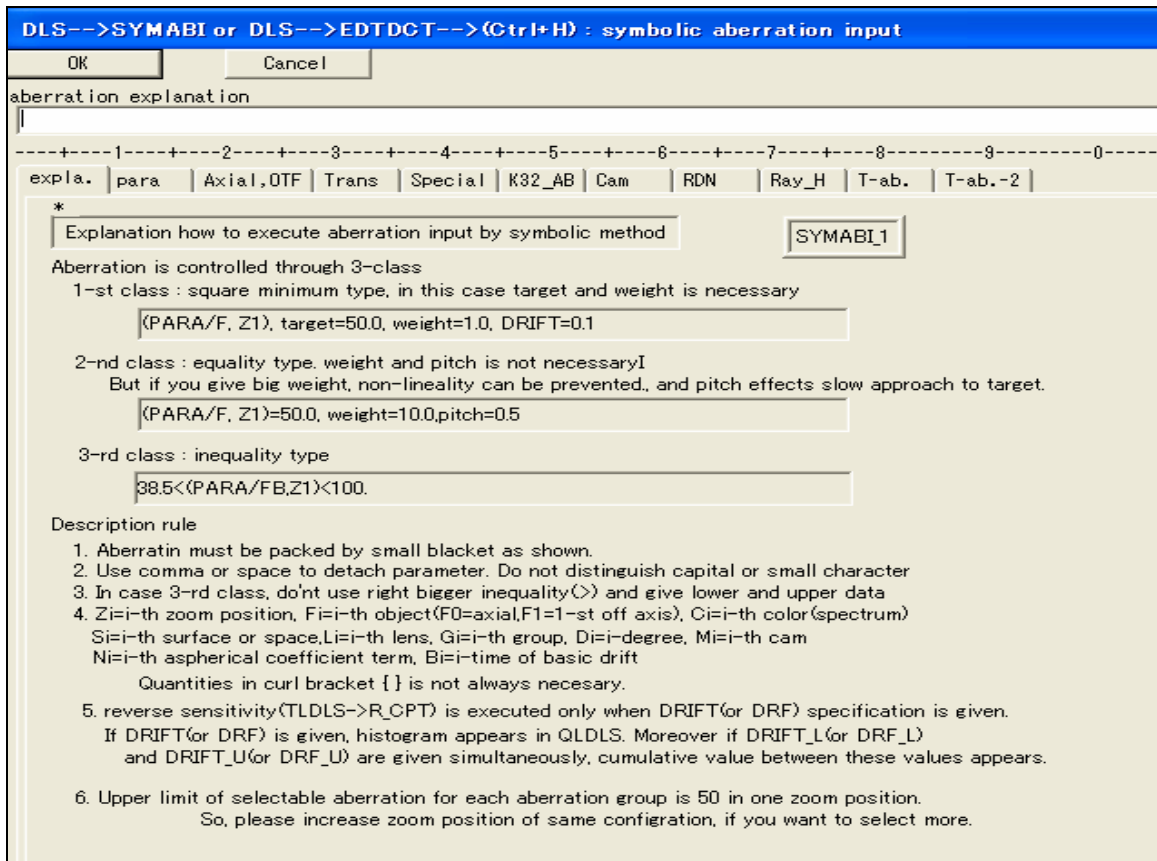
〈資料：5-4-A〉

```
1: **
2: [GAUSS28.DLS]      GAUSS/50/28  DLS START DATA
3:
4: 11 6 5 5 1
5:
6:
7:
8:
9:
10:
11:
12:
13:
14: 50.0000  8.9200
15: 0.0
16: -.4326   -.3028   -.2163   -.3893   -.1298
17: 111
18:
19:
20:
21:
22:
23:
24:
25:
26: 1
27: 50.0000
28: 3.0000
29: BK7

70: * from here DLS contoll data [DCT-1~11],aberration, boundary, etc
71: * KBDEDT(63^): flag to enable to use screen editor to change
72: * parameter weight, boundary condition and parameter boundary of TLDS
73: c KEND KTABEX      KHADJY KPTPCH      KBDEDT  KHDABR
74: 30 0                0 0                01      01
75: 11111 11111
76: 11111111111
77: 111111
78: c ZKMEN      ZDLOW      ZDH      ZIRIS      CORLMT      SAZR
79:

88: c ZKB      SDAMP      DCOF10      DCOF3      DRINC      DDINC      DNINC      GOSAR2
89:
90: c next line is not used now
91:
92: c
93: c from here aberration line
94: c
95: * aberration controll at 1-th zoom position
96: (PARA/F Z1 C1 ) TARGET= 50.0000 WEIGHT=10.0
97: 38.5000 < (PARA/FB Z1 C1 ) <1000.
98: 0.0 < (K32/LWID Z1 ) < 25.0000
99: 0.3523 < (K32/LVAL Z1 ) < 10.0
100: c
101: -2.5000 < (TR/DIST Z1 F1 C1 ) < 1.5
102: -1.5000 < (TR/DIST Z1 F2 C1 ) < 1.0
103: c
104: ((SPL/SPTBST Z1 /MR F2)-(SPL/SPTBST Z1 /SG F2)) T=0.0 W=1.0
105: ! blank line to detach aberration
106: ! blank line to detach aberration
```

§5-4-1 一般則



収差入力は収差制御の種類(第1種=自乗和型、第2種=等号型、第3種=不等号型)に応じて3種類ある。まず収差は小括弧で括る。2つの収差を作ってそれを四則演算(+, -, /, *)で連結することも可能である。又、各 parameter は空白又はコンマで区切り、大文字、小文字は区別しない。

自乗和型の時は dialog の例の如く、収差定義の後に target=50.0 weight=1.0 の如く目標値と重みを入れる。この場合単に T=50.0, W=1.0 と省略しても良い。

等式型の場合は、収差定義小括弧に続き等号を附加し続けて目標値を書く。この場合、本来不要な weight として大きな値を入れて置くと非線型性を制御することが出来、又 pitch を指定すれば一気に目標値に一致させるのではなく、ある割合で目標値に近づけることになる。例えば、PITCH=0.3 とすれば、1-iteration で現在の値から目標値に向かって 30% 近づける。pitch が与えられなければ前節の ZKB(標準値=1.0)が用いられる。

不等式型の場合は、収差の左側に最小値、右側に最大値を与え右側が大きい矢印(<)によってつなげる。この時左側が大きい矢印(>)は用いてはならない。

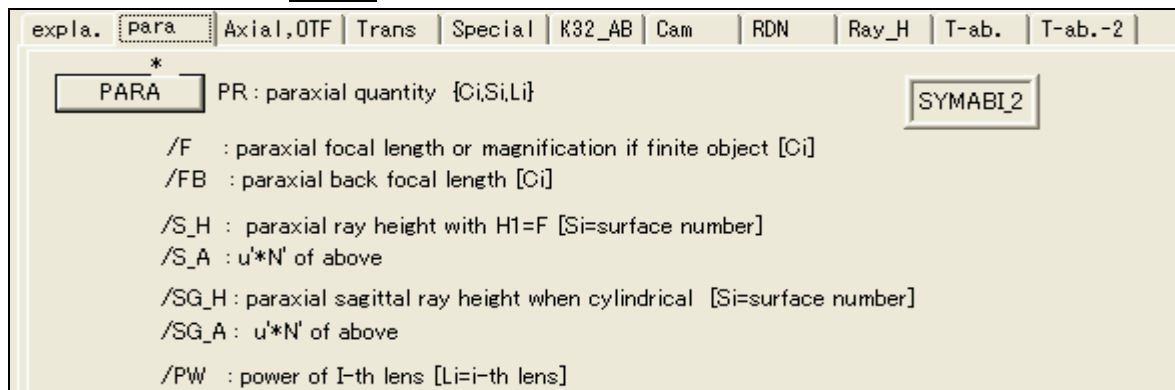
収差の定義において用いられる parameter は

- Zi : i-番目の zoom position
- Fi : F0=軸上、F1=第1軸外物点、Fi=第i番目の軸外物点
- Ci : i番目のスペクトル(通常 C1=d-line、C2=g-line・・・)
- Si : 第i面
- Li : i番目の lens
- Gi : i番目の group
- Di : i度(D0=meridional, D90=sagittal, D45=45° 方向)
- Mi : i番目の cam
- Ni : i番目の非球面の係数
- Bi : 基本誤差のi倍

である。

TLDLS に於いて逆感度計算を行う時はさらに例えば DRIFT=0.1 としてその収差の変化量を指示する必要がある。また、各収差グループはそれぞれのズームポジションごとに最大 50 まで選択することができる。

§ 5-4-2 近軸収差 **PARA**



button **PARA** を押すと順次例として

- (1) control focal length or magnification
(PARA/F Z1 C1) target=50.0 weight=1.0
- (2) abbreviated type : PARA-->PR, no Z1,C1, target-->T, weight-->W
(PR/F) T=50. W=1.0
- (3) (G-line Fb)-(D-line Fb)=axial chromatic aberration
' ((PR/FB C2)-(PR/FB C1)) T=0.0 W=1.0

- (4) image point after 1-st surface
((PR/S_H Z1 S1)/(PR/S_A Z1 S1)) T=100. W=2.0
- (5) magnification by certain group(from j-th to k-th)
at i-th zoom position
((PR/S_A Zi S(j-1))/(PR/S_A Zi Sk)) T=-1.0 W=2.0
- (6) powerr of 1-st lens
(PR/PW L1) T=100. W=2.0

が現れる。/F は物体が無遠の時焦点距離であるが、有限の時倍率になる。各面の高さ(PR/S_H)と換算傾角($u' * N'$) (PR/S_A)を用いれば、任意面での像点、任意群による倍率が得られる。但し(PR/S_A S0)は物空間での換算傾角である。

§ 5-4-3 収差係数 **AB_COF**

AB_COF ABC : aberration coefficients [Ci=spectrum no.] [Gi=group no.]
 (1)LE3 (2)TE3 (3)I (4)II (5)III (6)PS (7)V (8)R5 (9)T1R4 (10)T2R3
 (11)T3R2 (12)ASMR (13)ASSG (14)DIS5 (15)Is (16)IIs (17)IIs (18)IZ (19)IF (20)IP
 (21)Iw (22)Iz (23)Iw (24)IIw (25)IVw (26)Vw
 LE3 means L*1000, If Gi is given, i-th group coefficint.

button **AB_COF** を押すと順次例として

- (1) D-line comatic seidel coefficient
(AB_COF/II Z1 C1) target=0.0 weight=1.0
- (2)
D-line comatic seidel coefficient of 1-st group separated by IPTP
(AB_COF/II Z1 C1 G1) target=0.0 weight=1.0

が現れる。5次収差係数のR5~DIS5は§4-3で説明したものであり、Is~VwはRef.1のままである。zoom lensの可動間隔番号はIPTPの中にあるが、これによって分割された各群の収差はGiによって選択される。

§ 5-4-4 各面 Seidel 収差係数 **SEIDEL**

SEIDEL SDL : each surface D-line Seidel aberration [Si=surface number]
 (1)LE3 (2)TE3 (3)I (4)II (5)III (6)PS (7)V

- (1) ' D-line comatic seidel coefficient at 1-st surface'
' (SEIDEL/II Z1 S1) target=0.0 weight=1.0'

この収差を用いれば任意面のd-line Seidel 収差係数が制御出来る。

§ 5-4-5 軸上収差 **AXIAL**

expla.	para	Axial,OTF	Trans	Special	K32_AB	Cam	RDN	Ray_H	T-ab.	T-ab.-2
--------	------	-----------	-------	---------	--------	-----	-----	-------	-------	---------

*

AXIAL

AX : axial aberration [Ci=spectrum no., Hy=relative Y-height, Hz=for Z]
 /SPH : spherical aberration
 /SIN : sine condition [option is same as above]

SYMABL3

- (1) tangential marginal D-line spherical aberration
(AXIAL/SPH Z1 C1 RHY=1.0) target=0.0 weight=1.0
- (2) sagittal zonal D-line spherical aberration
(AX/SPH Z1 C1 RHZ=0.7) target=0.0 weight=1.0
- (3) 45-degree zonal D-line spherical aberration
' (AX/SPH Z1 C1 RHY=0.5916 RHZ=0.5916) T=0.0 W=1.0
- (4) zonal D-line sine condition
(AX/SIN Z1 C1 RHY=0.7) target=0.0 weight=1.0

軸上球面収差(AX/SPH)と正弦条件(AX/SIN)を制御するが、光線の位置は相対値で与え、例えばHY=0.7とすればY-方向の最大値に対する70%の高さとなる。

§ 5-4-6 OTF 収差 **OTF**

OTF

quantities concerning to OTF [Ci=spectrum no., Qi=i-th frequency, i=1~5 with pitch= OTFUL/5
 Qi=polynomial number when /ZCP is used

/DF : flag to compute diffraction counted OTF
 geometrical and diffractive cannot be mixed in same object point, but can be mixed if object is different

/SG : sagittal OTF [Qi] [Ci] For example, diffractive OTF for axial object, geometrical OTF for 1-st off axis object is possible.

/MR : meridional OTF [Qi] [Ci]

/WF : root mean square of wave front aberration

/SD : Strehl definition

/SR : spot radius

/SL : sagittal line spread

/ML : meridional line spread

/SH : sagittal shift

/MH : meridional shift

/ZCP : Zernike's circle polynomial{ Qi=polynomial number, Ci=spectrum no.}

/G /B /R /T : flag to select green,blue,red and total 3-CRT in case LENSVP=1
 if spectrum number is specified by Ci, single spectrum quantity is treated

- (1) sagittal white light 1-st frequency geometrical OTF of axial object

(OTF/SG Z1 F0 Q1) T=1.0 W=1.0
- (2) same as before except uses diffraction counted OTF

(OTF/SG/DF Z1 F0 Q1) T=1.0 W=1.0

(3) meridional D-line 1-st frequency geometrical OTF of 1-st off axial object

(OTF/MR Z1 F1 C1 Q1) T=1.0 W=1.0

(4) RMS of WFA at 1-st of axis object

(OTF/WF Z1 F1) T=1.0 W=1.0

(5) sagittal green-CRT 1-st frequency geometrical OTF of axial object

(OTF/SG/G Z1 F0 Q1) T=1.0 W=1.0

簡易型幾何光学的OTF又は簡易型波動光学的OTFによって得られるOTFをいろいろな観点から収差として定義する。まず、波動光学的な場合は/DFによって選ぶ(defaultは幾何光学的)。次にsagittal, meridionalは/SG, /MRで選ぶが、回軸対称で軸上の場合には必ず/SGを選ぶ。次に周波数はQiで選ぶがこれはLENS_CNT-Tab7のOTULを5等分した周波数のi倍に対応している。即ちQ1ならばOTUL/5に対するOTFである。Ciはスペクトル番号であるがdefaultは白色に対応している。

さらに/WFとすればZi, Fjで指定される物点に対する波面収差のRMS, /SRとすればspot半径、/SL, /MLはline spread /SH, /MHはshiftである。

又、LENSVP=1の場合は/G, /B, /Rによって各CRTに対するOTFを選ぶことが出来る。

§5-4-7 横収差 TRANS

expla.	para	Axial,OTF	Trans	Special	K32_AB	Cam	RDN	Ray_H	T-ab.	T-ab.-2
--------	------	-----------	-------	---------	--------	-----	-----	-------	-------	---------

*

TRANS TR: transverse aberration[Zi,Fi,Ci] {Di,Si} **SYMABL4**

R = relative radial value within(-1.0,1.0)
Di :azimuth angle with degree(i is integer from 0 to 90), e.g. D90 means sagittal section
/B : select chromatic aberration of magnification of a ray which passes center of IRIS
/Z : declaration to treat Z-direction quantity
/WF : declaration to treat wave front aberration
/SAS : sagittal astigma
/TAS : tangential(meridional) astigma
/DIST : distortion
/DISTY : distortion in Y-direction
/DISTZ : distortion in Z-direction
/RDDIST : radial distortion
/AZDIST : azimuth distortion with degree
/PP : principle ray height on image plane(D-line only)
/SF : ray co-ordinate on specified lens surface or image surface given by Si
If i <= LS lens surface, i =LS+1 image surface. where LS is surface number

- (1) dy of meridional highest ray D-line at 1-st off axis
(TRANS Z1 F1 C1 R=1.0) T=0.0 W=1.0
- (2) dZ of sagittal lowest ray D-line at 1-st off axis
(TRANS/Z Z1 F1 C1 D90 R=-1.0) T=0.0 W=1.0
- (3) D-line sagittal astigma of 1-st off axis
(TRANS/SAS Z1 F1 C1) T=1.0 W=1.0
- (4) D-line principle ray height of 1-st off axis on image plane
(TRANS/PP Z1 F1 C1) T=1.0 W=1.0
- (5) D-line ray-Y of mer. highest ray of 1-st off axis at 1-st surface
(TRANS/SF Z1 F1 C1 S1 R=1.0) T=1.0 W=1.0

主として横収差を定義するものであり、例(1)では、meridional 断面内の上光線に対する Δy を定義して居り、例(2)では sagittal 断面最左側での Δz を定義している。新 parameter Di は i 度だけ meridional 断面から回転した断面を意味し、R はその断面内での相対座標で -1.0~1.0 の値が許される。勿論/Z は Δz を選ぶ option である。/WF を付ければその点での波面収差が選ばれ、/SAS, /TAS, /DIST を付ければ sagittal astigma, meridional astigma, distortion が得られる(この時 R は不要)。

又、/PP によって主光線の像面上での高さ、/SF によって Si で指定される i 面上での Y 又は Z が得られる。

§5-4-8 特殊収差 SPECIAL

expla.	para	Axial,OTF	Trans	Special	K32_AB	Cam	RDN	Ray_H	T-ab.	T-ab.-2
--------	------	-----------	-------	---------	--------	-----	-----	-------	-------	---------

SPECIAL SPL: special aberration * SYMABL5

paraxial quantity
 /ACOF: A-coefficient by Dr. Nakagawa /BCOF: B-coefficient
 /FBTAN: tangential image point after i-th surface [Si]
 /FBSAG: sagittal of above
 /TTWH: total washer /FCWH: focusing washer /FBDF: back focus drift

axial best defocus (axial defocus is always used as position defocus)
 /MTFBST: best defocus to maximize geometrical O.T.F.(OTFBST): same as MTFBST=01
 if Qi is given, best defocus against i-th frequency is given
 but this is treated as common aberration not position defocus.
 /MTFBSW: best defocus to maximize diffraction counted O.T.F.(OTFBST): same as MTFBSW=01, Qi is same as above
 /AXSPB: best def. to minimize spot radius(KHDABR=1 only)
 /AXWFB: best def. to minimize WFA(KHDABR=1 only)

best defocus at i-th object [Fi] [Ci] (use as position defocus or not is selected by USEDEF)
 following quantity is available only when KHDABR=1
 If you specify F6, total image best is selected.
 If you give Ci, i-th spectrum best is selected.
 /SPTBST: best defocus to minimize spot radius
 /WFABST: best defocus to minimize R.M.S of wave front aberration.
 /SG: sagittal best
 /MR: meridional best
 /TT: total best, i.e. (sagittal+meridional) best
 /USEDEF: flag to use this defocus as position defocus(effective only to /SPBEST,/WFABST)

- | | |
|-----|--|
| (1) | A-coefficient by Dr.Nakagawa
(SPL/ACOF Z1) T=1.0 W=1.0 |
| (2) | tangential image point after 1-st surface
(SPL/FBTAN Z1 S1) T=1.0 W=1.0 |
| (3) | total washer of zoom lens
(SPL/TTWH Z1) T=1.0 W=1.0 |
| (4) | geometrical best defocus for axial object
(SPL/MTFBST Z1) T=1.0 W=1.0 |
| (5) | sagittal spot minimizing best defocus for 1-st off axis
(SPL/SPTBST/SG Z1 F1) T=1.0 W=1.0 |
| (6) | sagittal meridional differene for 2-nd off axis
((SPL/SPTBST/SG Z1 F2)-(SPL/SPTBST/MR Z1 F2)) T=1.0 W=1.0 |
| (7) | total image best defocus which is used as position defocus
(SPL/SPTBST/TT/USEDEF Z1 F6) T=1.0 W=1.0 |

最初の/ACOF, /BCOF は<資料:4-3-G>の中にある中川治平氏提案の parameter であり、
/FBTAN, /FBSAG は Si で指示される i 面の後側における像点までの距離である。

/TTWH, /FCWH, /FBDF は zoom lens に於いて製造誤差が発生した時の収差なので § 6-3-2-1
に於いて取扱うことにする。

/MTFBST, /MTFBSW は幾何光学的簡易 OTF、波動光学的簡易 OTF を用いた軸上 best defocus
の値である。

/AXSPB, /AXWFB は spot 収差を用いている場合 (KHDABR=1) にのみ使用出来る軸上 spot best、
軸上波面収差 best の best defocus 値である。又/MTFBST～/AXWFB を選べばその defocus 上
ですべての収差は取扱われることになる。この点次の2つは単に defocus の数値を制御する
のみで、他の defocus で他の収差を計算することも出来る。

残る defocus は軸外の best も取扱えるもので/SPTBST は spot best /WFABST は波面収差
best であり、Fi, Cj によって物体、スペクトルを指定するが、F6 を指定すれば全体 best、
Cj を省略すれば白色 best になる。又、前述の如く/USEDEF とすればコマ収差は defocus 上
で計算されることになる。

§ 5-4-9 非球面での曲率 ASP_CV

expla.	para	Axial,OTF	Trans	Special	K32_AB	Cam	RDN	Ray_H	T-ab.	T-ab.-2	
*											
ASP_CV		aspherical surface curvature with diopter [Si] relative(0.0~1.0) surface height HUP,HLOW is used as example /DIF : flag to take difference of two points /DEG : flag to permute surface curvature by an angle						SYMABI_6			
ASP_CV2		second kind of above [Si] two surface point HY1,HZ1, HY2,HZ2 with real unit mm are used /Y_DIOP : flag to encount Y diopter /Z_DIOP : flag to encount Z diopter /DIF : flag to take difference of two points						between tangent plane and Y-axis with degree			
aspherical surface curvature at marginal point at 1-st surf.(RHUP=relative height)											
(ASP_CV S1 RHUP=1.0) T=1.0 W=1.0											
angle between tangent line and Y-axis represented by degree at the point(S1,RHUP)											
(ASP_CV/DEG S1 RHUP=1.0) T=1.0 W=1.0											
curvature difference between margin and mid-point											
(ASP_CV/DIF S1 RHUP=1.0 RHLOW=0.5) T=1.0 W=1.0											

非球面においてその形状を製造が容易になるよう誘導したい時に用いるが、例(1)では第1面の端における曲率が収差にとられ、例(2)ではその点に於ける接線とY-軸とのなす角度(単位:度)を収差に取り、例(3)では相対高さ1.0での曲率から0.5での曲率を引いたものが収差として採用される。勿論曲率は diopter 表示である。

§5-4-10 非球面での曲率 ASP_CV2

- | |
|---|
| <p>(1) general surface curvature at HY,HZ at 1-st surf.
(ASP_CV2 S1 HY1=10.0 HZ1=3.0) T=1.0 W=1.0</p> <p>(2) curvature difference between two points
(ASP_CV2/DIF S1 HY1=10.0 HZ1=0.0 HY2=0.0 HZ2=10.0) T=1.0 W=1.0</p> |
|---|

前節は回転対称面のみを取扱ったが、ここでは任意形状の場合を取扱う。例(1)は実寸でY=10.0, Z=3.0に於けるY-方向の曲率半径Ryを収差として取扱う。さらに/DIFを付けて第2点の座標を例(2)の如く与えれば2つの点の曲率の差が作れる。Y-方向、Z-方向の曲率は/Y_DIOP, /Z_DIOPによって区別する。

§5-4-11 32-収差 K32_AB

<p>K32_AB K32 : miscellaneous lens character, each selection is executed by option style</p> <p>(1) AL (2) EFL (3) FB (4) FNO (5) PP1 (6) PP2 (7) LWID (8) LTRK (9) TTLK (10) ENTP (11) EXTP (12) FILT (13) LVAL (14) PPAB (15) LWRH (16) FRGH (17) POW1 (18) PP1 (19) PP2 (</p>
<p>selection of 32-aberration (K32_AB/EFL) T=1.0 W=1.0</p>

この収差が最も頻繁に用いられるものであり、〈資料:4-1-C〉に示された 16 個の値を収差として作れる。

§ 5-4-12 レンズの厚み **LENS_TH**

LENS_TH lens thickness at arbitrary point [Si], give HY,HZ of computed point

lens thickness at 1-st surface at HY,HZ
(LENS_TH S1 HY=10.0 HZ=0.0) T=1.0 W=1.0

計算したい点の Y と Z を実寸で与えれば、その点での lens 厚が収差にとれる。これは累進焦点眼鏡レンズの設計で用いられた。

§ 5-4-13 DOE に於ける位相飛び **DOE_P**

DOE_P optical path length jump in DOE surface, Si is necessary

optical path length jump at 1-st surface at HY
(DOE_P S1 HY=10.0) T=1.0 W=1.0

DOE に於いて面番号と高さを指定してその点での位相とびを収差として採用する。

§ 5-4-14 光学的厚み **OPT_TH**

OPT_TH optical thickness after Si along normal vector (Sweatt model)

LENS_TH, DOE_P, OPL_TH cannot couple to the other aberration
\$\$ 3-aberration total maximum allowable no.=50 for each zoom position

optical thickness along normalline at 1-st surface at HY,HZ
(OPT_TH S1 HY=10.0 HZ=0.0) T=1.0 W=1.0

DOE の Sweatt model において面の法線に沿った光学的厚み。

§ 5-4-15 分布型屈折率での制御 **GRIN_N**

expla. para Axial,OTF Trans Special K32_AB Cam RDN Ray_H T-ab. T-ab.-2

GRIN_N refractive index of gradient index medium at arbitrary point after i-th surface [Si]

XYZ of computed point must be given as example
this aberration cannot couple to the other

SYMAB17

refractive index of gradient index medium after 1-st surface at X,Y,Z
(GRIN_N S1 X=1.0 Y=1.0 Z=1.0) T=1.0 W=1.0

S_i で指定される面の頂点座標に於いて X, Y, Z に位置する点での屈折率を収差として採用する。

§ 5-4-16 カム形状の制御 **CAM_AB**

CAM_AB aberration concerning to i-th cam [Zi,Mi]
/MV : movement from 1-st position
/DIF : differentiation expanded to 100 on ring surface
/SQA : square root average of cam differentiation
KAMBEX in ZOOM_CNT must be ON to use this aberration

1-st cam movement from 1-st position to 2-nd
(CAM_AB/MV M1 Z2) T=1.0 W=1.0

ZOOM_CNT-Tab2 の KAMBEX を on にした状態で機能する収差であり、上の例では第 1 position から第 2 position に移動する時の第 1 cam の移動量を与える。次にこの cam を円周 100mm に展開した時の微係数を求め、それを/DIF によって定義し、その自乗平均を/SQA で定義する。展開長の変更や細かい指示は KAMBEX と同じ page の KAMCNT によって行うことが出来る。

§ 5-4-17 眼鏡収差 **MEGANE**

MEGANE special aberration for spectacle
/BFP : back focal power
/ASD : astigmatic difference
in this case Y,Z of computed ray at 1-st tangent surface must be given as example
this aberration cannot couple to the other

back focal power passing Y,Z at 1-st surface
(MEGANE/BFP Y=5.0 Z=0.0) T=1.0 W=1.0

眼鏡レンズで例のようにすれば、第 1 面において Y=5.0, Z=0 を通り、絞りの中心を通る光線に対する back focal power (頂点屈折力) が得られ、/ASD とすれば非点隔差が得られる。この両者の表示単位は diopter である。

§ 5-4-18 屈折後の像点位置 **IMAG_PT**

expla.	para	Axial,OTF	Trans	Special	K32_AB	Cam	RDN	Ray_H	T-ab.	T-ab.-2	
*											
IMAGE_PT		image point starting from axial object after i-th surface [Si]						SYMBI8			
/FST : represent image point letting 1-st surface as origin											
/ITH : represent letting i-th surface as origin											

image point from 1-st surface after refraction st 2-nd surface
(IMAGE_PT/FST Z1 S2) T=1.0 W=1.0

Si で指定される面で屈折後に出来る像点の第 1 面からの位置が/FST で与えられ、/ITH によって i-面からの位置が与えられる。

§ 5-4-19 非球面係数の制御 **AS_COF**

AS_COF	treat aspherical coefficients value converted to marginal thickness [Si] {Ni=i-th term}
/RMS : RMS of aspherical term	
If Ni or NTERM=i is given, marginal effect of i-th term is treated	
/CONIC : marginal effect value of conic	

2-nd term effect at marginal point of 1-st surface
(AS_COF Z1 S1 NTERM=2) T=1.0 W=1.0

非球面の効果は、その各項を端厚に換算した時の値で量ることが出来るが、上例の如くすれば、第 1 面第 2 非球面項(通常 4-次)の影響を収差に取ることが出来る。

/RMS とすれば各項の影響の RMS(root mean square)が得られ、/CONIC とすれば円錐項の影響が収差となる。

§ 5-4-20 レンズの RDN **LENS_RDN**

LENS_RDN	RDN : Lens constitution parameter [Si]
/R : (1000./R) /D : space D /N : index Nd /V : abbe no.V /RZ : (1000./Rz)	
where index is after i-th surface	

1-surface diopter(1000./R1)
(LENS_RDN/R Z1 S1) T=1.0 W=1.0

レンズの構成 data を直接制御したい場合に使用され上の例では R1 を diopter で表した数値が収差となる。/D, /N, /V は間隔、屈折率、Abbe 数であり、/RZ は toric 面に於ける第 2 曲率半径を diopter で表したものである。屈折率に対する Si は i-面の後側の屈折率となっている。

§ 5-4-21 boundary 収差 **BDRY**

BDRY	Treat boundary value as real aberration [Si]
/D : axial width or space /MAX_Y /KOBAY : Marginal thickness or space /HSR : H divide by R	
/MAX_SIN_2 /Z_VAL /MAX_Z /KOBAY_Z KOBAY_m_Z: minus side /KOBAY_m_Y	
/L_VOL : volume after I-th /T_VOL:total volume	
/SPFB:from i-th surface point(HY,HZ) to axial image point	
/HzSRz : Z-surface height divided by Rz	

axial thickness or space after 1-surface
(BDRY/D Z1 S1) T=1.0 W=1.0

§ 5-5-5 で説明した総ての boundary を収差として扱うことができる。

§ 5-4-22 スクリーン収差 **SCREEN**

expla.	para	Axial,OTF	Trans	Special	K32_AB	Cam	RDN	Ray_H	T-ab.	T-ab.-2	
*											
SCREEN	screen aberration										SYMABI_9
source selection											
/GREEN : green CRT /BLUE : blue CRT /RED : red CRT											
Axial object is assumed, but if you specify F1 first off axis object point is used as source point											
aberration quantity											
/WIDTH : width /CENTER : center /ENERGY : energy /GOOD : good range											
/LEFT_H : left half RIGHT_H : right half											
/Y : Z-direction is assumed, but if you select this option Y-direction is computed											

energy half width at 1-st zoom position(Z1), 1-st off axis(F1)
(SCREEN/WIDTH Z1 F1) T=1.0 W=1.0

投射型テレビのスクリーン拡散性能を調べる時に用いられたが今は使われていない。

§5-4-23 主光線のk-面での高さ RAY_H

RAY_H principle ray Y or Z height on i-th surface [Fi,Si]
 /Y : Y-axis component /Z : Z-axis component
 If you give i=LS+1, image surface is selected, where LS is total surface number

*'principle ray Y-height at k-th surface'
 ' (RAY_H/Y Z1 F1 Sk) T=1.0 W=1.0'

主光線の高さを任意の面上で求める場合に用いられる。

§5-4-24 T-aberration T_AB

tangential marginal D-line spherical aberration
 (AXIAL/SPH Z1 C1 HY=1.0) target=0.0 weight=1.0 T_AB/R S1 B10

expla.	para	Axial,OTF	Trans	Special	K32_AB	Cam	RDN	Ray_H	T-ab.	T-ab.-2
--------	------	-----------	-------	---------	--------	-----	-----	-------	-------	---------

*

T_AB aberration when parameter drift occurred. Attach T_AB followed controll after aberration
 Treated aberration value is increment by drift from normal state.
 10-times(B10) newton drift at 1-st surface(S1) : attach this to upper EDIT-box
T_AB/R S1 B10

selection of perturbation SYMABI_10

/R : newton drift(uses GOSAR as elementary drift quantity)
 /D : space drift(GOSAD)
 /N : index drift(GOSAN) /V : abbe no. drift(GOSAV)
 /ZSP : zoom space drift(GOSACM)
 /ITL : independent tilt(GOSATL) /DST : do-otsuki tilt(GOSASH)
 /GTL : group tilt(GOSATL) /GSH : group shift(GOSASH)

parameter number selection
 surface number using Si for R,D,N,V,ITL. space number for ZSP. Use Gi for DST,GTL,GSH
 Use Bi to specify quantity of disturbance. B-9 to B99 is allowed.

For perturbation direction, use /Y or /Z

Only following 5-kind aberration are allowed at present
 PARA(paraxial aberration), AB_COF(aberration coef.), AXIAL(axial aberration)
 TRANS(transverse aberration), OTF(OTF aberration)

Q_AB Usage is completely same as T_AB, but treated value is aberration itself,
 whereas T_AB treats increment from normal state.

- (1) 10-times(B10) newton drift at 1-st surface(S1) : attach this to upper EDIT-box
T_AB/R S1 B10
- (2) 1-st group group shift
T_AB/GSH G1
- (3) 1-st group group shift to Z-direction
T_AB/GSH G1 /Z

製造誤差に対して鈍感な光学系を設計したい時に用いる収差であり、まず、これまで説明

した収差の中で PARA, AB_COF, AXIAL, TRANS, OTF の中から 1 つを選び、上の段の入力を行う。この時最終状態で 120-column しか使えないのであるべく左に詰めて居く。次に button **T_AB** を押せば(1)～(3)の例のようにこの収差に対して起こすべき製造誤差が定義されるので、2 段目の入力確定した後で mouse+drag によって 2 段目の文字を選択し、その後 **Ctrl+C** を押し、次に上段の最後の column の次に空白を入れ **Ctrl+V** を押せば、copy される。

さて誤差は dialog の中にある通り 9-種類用意され、その値は次の dialog

expla.	para	Axial,OTF	Trans	Special	K32_AB	Cam	RDN	Ray_H	T-ab.	T-ab.-2			
<input checked="" type="checkbox"/> KTABEX : flag to treat decentered aberration(T-aberration) Full Set *													
Independent tilt with 80I1													
11111 11111													
-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8													
do-o-tsuki tilt with 80I1(1=ind., 2=do-o-tsuki)													
121 2 2 121													
-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8													
group tilt Is-Ie with 20(I2,I2)													
G1 G2 G3 G4 G5 G6 G7 G8 G9 G10 G11 G12 G13 G14 G15 G16 G17 G18 G19 G20													
<--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <-->													
1 2 3 5 7 9 10 11													
-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8													
group shift with Is-Ie with 20(I2,I2)													
G1 G2 G3 G4 G5 G6 G7 G8 G9 G10 G11 G12 G13 G14 G15 G16 G17 G18 G19 G20													
<--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <--> <-->													
1 2 3 5 7 9 10 11													
-----1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-----8													
GOSAR		GOSAD		GOSAN		GOSAV		GOSASH		GOSATL		GOSACM	
5.0		0.05		0.0005		0.2		0.015		2.0		0.015	
SYMABI_11													

の最終行を使って変更出来る。誤差の種類は/R~/GSH で選び、どこが誤差を発生するかについては、R, D, N, V, ITL は Si で選び ZSP については Si の i に最初から数えた番号(即ち第 1 zoom space は 1)を入れ、DST, GTL, GSH については Gi の i に group 番号を入れる。さらに誤差の大きさは-9 倍から 99 倍までを B-9, B99 として指定し、偏芯が Y-方向か Z-方向かによって/Y, /Z によって指示する。

T_AB のときは正常な状態からの変化量が収差に取られ、**Q_AB** のときは擾乱を受けた状態でのその収差自身が収差に取られる。

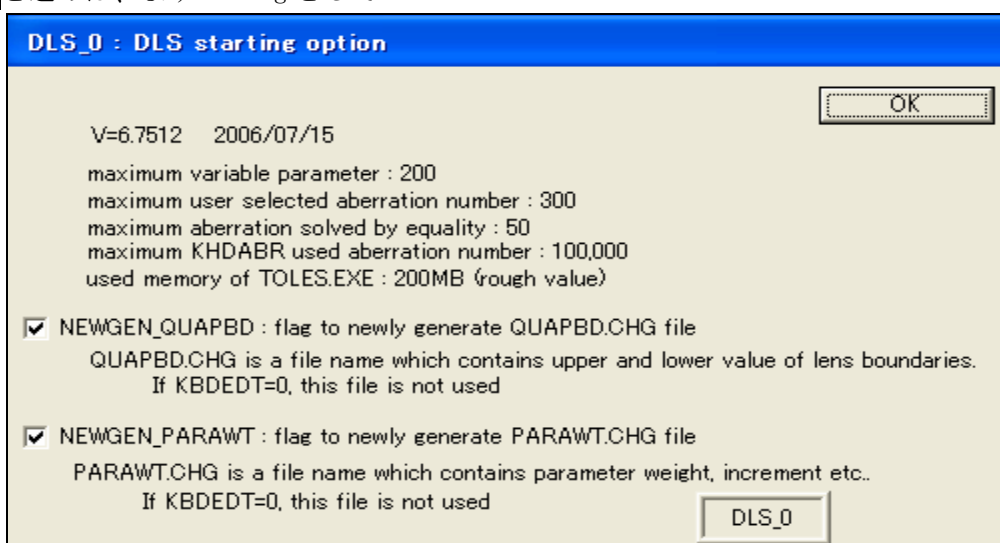
§ 5-5 最適化の実行

§ 3-2 とまったく同じ手順で

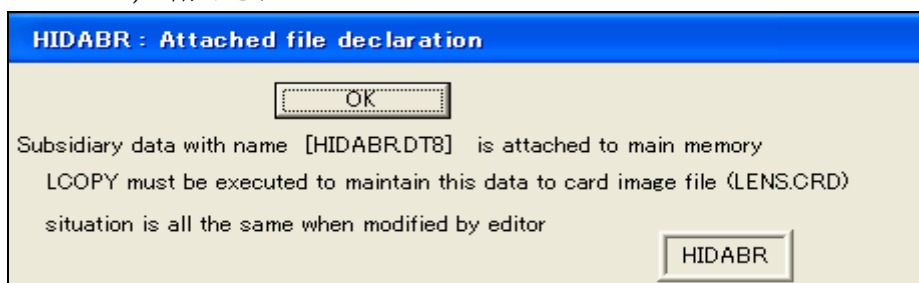
$$R_1=R_3=R_5=-R_7=-R_9=-R_{11}=50.0$$

$$R_2=R_4=R_6=R_8=R_{10}=0.0$$

とし、間隔は $d_2=d_9=0.0$ それ以外はすべて 3.0 とし、硝材は g_3, g_4 の凹レンズを F2、残りを BK7 として data を作り、次に **DLCTGN** によって、DLS-controll data を附加し、制御収差として F, FB, lens width、光量、10 割と 7 割の distortion の計 6 個を選べば(第 1 column の C を除去する) LENS. CRD 上には<資料:5-4-A>が作られる。但し、lens width は現状では 20mm であるが、少し厳しいので 25mm に増やしてある。これを test data として **TOLES** → **DLS** と進めば、まず dialog として

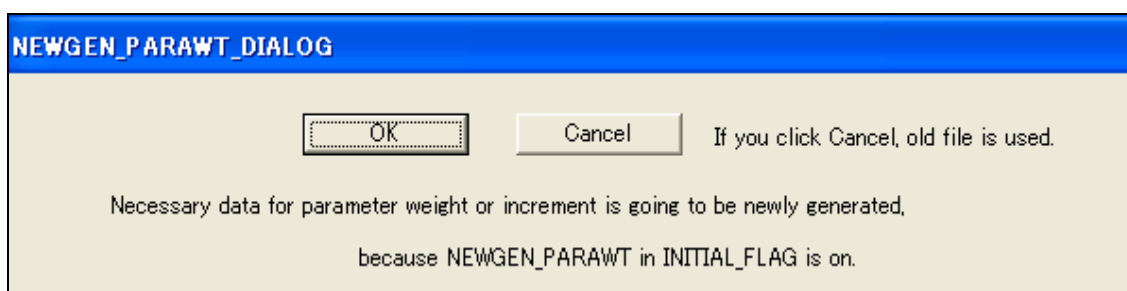
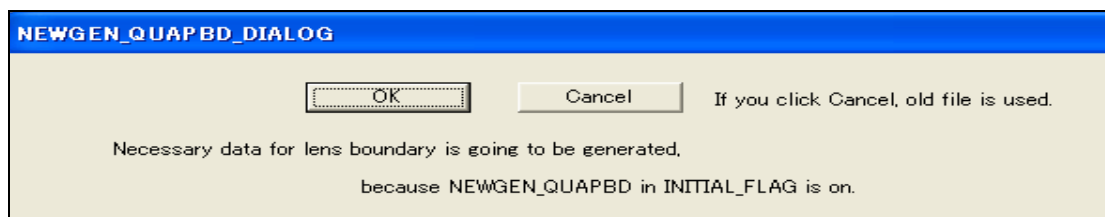


が現れる。これは現在の **program** 状況を示して居り、変数の数の最大値が 200、選択出来る収差の数 300、等式として取扱える収差の数 50、**spot** 収差の最大数が 100,000 であり、必要な **memory** が約 200MByte であることを説明している。次に **spot** 収差を使うことが宣言されている (**KHDABR=1**) のにそれに対する制御 **data** がないことから、必要な **file**(**HIDABR.DT8**)が附加されたことが



によって説明され、次に **NEWGEN_QUAPBD** が on になっているため、boundary を指定する file(**QUAPBD.CHG**<資料:5-3-6-A>) が新しく作られ、parameter weight を指定する file(**PARAWT.CHT**<資料:5-3-7-A>) も新しく作られることを示している。勿論同じ lens を何

度も取扱っている時は switch を off にして旧 file を使うのが普通である。この時は dialog として



が現れる。続いて **DEX3** を選べば screen 上は

```

used total parameter= 32
executed iteration number= 30

      click Cancel on menu bar by mouse
      or
      push Alt/C
      to stop optimization and go to new menu

( 0) phai= 2721.607211 [ 1256.522535]
      * parameter whose movement is very big
      (R( 4)      : -0.6846) (D( 1)      : 0.6525)
      (D( 3)      : 0.5846) (D( 4)      : 0.6303)
      (D(10)      : 0.5808) (V( 1)      : 2.8686)
      (N( 3)      : 0.0271) (N( 8)      : 0.0260)
      (N(10)      : 0.1487) (V(10)      : -6.0453)
( 1) phai= 437.361585 [ 434.628835]   mov.= 7.156   damp.f.= 0.5926D+02
      * parameter whose movement is very big
      (N( 1)      : 0.2036) (V( 1)      : -12.8874)
      (N( 3)      : -0.0449) (N( 4)      : 0.0430)
      (N(10)      : 0.0272) (V(10)      : -2.0948)

( 24) phai= 0.647582 [ 0.640410]   mov.= 0.552   damp.f.= 0.3759D+00
( 25) phai= 0.628833 [ 0.622145]   mov.= 0.606   damp.f.= 0.3336D+00
( 26) phai= 0.620064 [ 0.613596]   mov.= 0.683   damp.f.= 0.2976D+00
( 27) phai= 0.603083 [ 0.596898]   mov.= 0.752   damp.f.= 0.2564D+00
( 28) phai= 0.587077 [ 0.581059]   mov.= 0.799   damp.f.= 0.2276D+00
( 29) phai= 0.577301 [ 0.571567]   mov.= 0.791   damp.f.= 0.2191D+00
      cor. (1DIS2) and (1DIS1) is 0.999 ; do not add to equality
( 30) phai= 0.605076 [ 0.599129]   mov.= 0.685   damp.f.= 0.2539D+00
Do you continue optimization ? (Y/N)

```

となる。phai は(5-1)式であり、最初の数値が選択された収差、boundary、spot 収差に対するものであり、大括弧の中は spot 収差のみに関するものである。

スクリーン上の mov. として与えられた数値は

$$\Delta x = \sqrt{\sum (\Delta x_i / \Delta x_{iu})^2 / n}$$

として計算され、系が一回の iteration でどの程度変化したかを示すものである。ここで Δx_{iu} は x_i の変化の one unit に対応するものであり、§ 5-2-2 で説明された可変 parameter の内で面の形状に関するものは、その変化をその面の端厚の変化に換算し、その変化が 0.1mm を unit にしている。それ以外で長さに関するものは 0.1、屈折率に関するものは 0.01 を Δx_{iu} として用いている。さらに個々の iteration における parameter に関する Δx_i も DSKFILE.DOC 上に出力されており(〈資料:5-5-A〉～〈資料:5-5-C〉はその一部である)、〈資料:5-5-A〉の最初における

d. koba, d. D(I) d. Nd, d. V

は各パラメータに対するその iteration での変化を示している。境界条件は D_i と屈折率の boundary に関しては不等式(侵害している時は等式)として解かれ、収差も等式または不等式として解かれるが、それらの間が ill condition に近付いたり色収差を強引に引っぱると、 Δx が大きくなりすぎて結果的に系が劣化することがあるので注意を要する。

〈資料:5-5-A〉の下半分の出力は屈折率に関するものであり、boundaries と書かれた下側の 3 個の数字は § 5-2-7 で説明した正規化された glass parameter (\tilde{N}_d, \tilde{v}_d) に関する 3 つの境界(1:SF 系、2:La 系、3:upper limit)までの距離(内側にあれば正)が与えられる。

〈資料:5-5-C〉の下からの 3 行には(5-6)式のように等号で取扱われた方程式の様子が出力されているが、最初の数字が(5-6)式の左辺、次が右辺の値であり、実際の光学系に対する値の変化が最後の数値である。(5-12)式が一次方程式として解を持つならば 1 番目と 2 番目の数値は一致するが、系に非線型性が存在すれば 3 番目の数字とは一致しない。一致しない量が大きい時は、その収差自身の変化要求量が大きすぎるためなので収差 data の 21～30-column の pitch を小さな値(一回で目標値を満足しようとする場合、1.0 に対応)にするか、他の収差との相関を考えて、他の収差に対する等式選択を止めることを考えると良い。

以上のように

- (1) 収差の選択
- (2) W_i, F_{IT} の決定
- (3) 等式・不等式の取捨選択
- (4) DEX による最適化
- (5) 結果の様子により再び(1)にもどる

のようにして光学系を改善するのが自動設計の根幹部分と考えて良い。

1-th iter. -----

* parameter whose movement is very big (greater than UNIT multiplied by PRMCOF)

(R(4) : -0.6846) (D(1) : 0.6525) (D(3) : 0.5846) (D(4) : 0.6303) (D(10) : 0.5808)
 (V(1) : 2.8686) (N(3) : 0.0271) (N(8) : 0.0260) (N(10) : 0.1487) (V(10) : -6.0453)

R-D-N data and increment of constituent parameters

[GAUSS28.DLS] GAUSS/50/28 DLS START DATA

8:50:58 2006/ 7/17

	R(I)	D(I)	Nd	Vd	d.koba	d.D(I)	d.Nd	d.V	max.-Y	koba-Y	hg	ug
[1]	51.5296	3.6525	1.50815	67.0	-0.0242*	0.6525*	-0.008	2.87	(11) 8.922*(22)	2.98	1.000	0.00000
[2]	144.5504	0.4668			0.2643*	0.4668*			(12) 8.737 (23)	1.39	0.976	0.006430
[3]	32.1383	3.5846	1.54347	65.0	0.4326*	0.5846*	0.027	0.86	(13) 8.656 (24)	1.11	0.973	0.014828
[4]	-52.0585	1.6303	1.64355	35.5	-0.6862*	0.6303*	0.024	-0.76	(14) 8.424 (25)	3.36	0.920	0.012849
[5]	53.5088	3.4521			-0.0437*	0.4521*			(15) 8.084 (26)	2.88	0.899	0.010305
[6]	0.0	3.4521			0.0000	0.4521*			(16) 7.820\$(27)	2.78	0.863	0.010305
[7]	-42.7959	1.4015	1.64261	35.6	-0.0982*	0.4015*	0.023	-0.68	(17) 7.562 (28)	2.86	0.828	-0.001294
[8]	72.7503	3.3752	1.54235	65.1	0.3978*	0.3752*	0.026	0.93	(18) 7.597 (29)	2.02	0.830	-0.002120
[9]	-49.1273	0.4042			-0.0106*	0.4042*			(19) 7.650 (30)	1.18	0.837	0.005969
[10]	157.4950	3.5808	1.66507	58.1	0.1829*	0.5808*	0.149	-6.05	(20) 7.589 (31)	2.58	0.834	0.005701
[11]	-50.6570				0.0073*	0.0000			(21) 7.446*		0.814	0.020180

* fixed iris height (# <-- user given height)

[1] 8.9259 [6] 8.0674 [11] 7.7803 [

* mark after weight <-- precise value given from glass data

	H/R	sin**2	Z-val	radius	HHPS	vol. (cc)	weight	f
[1]	(32) 0.1731 (43)	0.1429 (54)	0.0564	8.9259	1.2500	1.0812	2.7247*	
[2]	(33) 0.0604 (44)	0.1666		8.7907	1.2500			(155.5168)
[3]	(34) 0.2693 (45)	0.1703 (55)	0.2156	8.7191	1.2500	0.7236	1.8235*	
[4]	(35) 0.1618 (46)	0.2381 (56)	0.1564	8.4469	1.2500	0.8039	2.8940*	
[5]	(36) 0.1511 (47)	0.2057		8.2550	1.2500			(271.1114)
[6]	(37) 0.0000 (48)	0.2497		8.0674	1.2500			
[7]	(38) 0.1767 (49)	0.2847 (57)	0.1406	7.8749	1.2500	0.5773	2.0783*	
[8]	(39) 0.1044 (50)	0.1578 (58)	0.1301	7.8935	1.2500	0.7012	1.7671*	
[9]	(40) 0.1557 (51)	0.2260		7.9225	1.2500			(-206.8870)
[10]	(41) 0.0482 (52)	0.2252 (59)	0.0976	7.8817	1.2500	0.7944	2.0019*	
[11]	(42) 0.1470 (53)	0.1915		7.7803	1.2500			(58.0287)

(4.6816) (13.2894) (49.5536)

* total volume (60) 4.6816

	Nd	Vd	D	G	C	F	E	boundaries
1(1)	1.5082	67.01	1.50817	1.51742	1.50585	1.51340	1.50997	(61) 0.03 (62) 0.00 (63) 0.58
2(3)	1.5435	65.00	1.54348	1.55374	1.54093	1.54927	1.54547	(64) 0.09 (65) 0.00 (66) 0.51
3(4)	1.6436	35.50	1.64356	1.66700	1.63825	1.65638	1.64786	(67) 0.00 (68) 0.44 (69) 0.31
4(7)	1.6426	35.58	1.64262	1.66596	1.63733	1.65538	1.64690	(70) 0.00 (71) 0.44 (72) 0.31
5(8)	1.5424	65.07	1.54237	1.55260	1.53983	1.54814	1.54435	(73) 0.09 (74) 0.00 (75) 0.52
6(10)	1.6651	58.10	1.66508	1.67926	1.66160	1.67305	1.66782	(76) 0.31 (77) 0.00 (78) 0.27

* following 16 parameters are converted to aberration group (in D.L.S.) with K1=32

	posi. -->	(1)	(
(1)	AL : EFL or behta (AL)	49.5536	
(2)	EFL : focal length	49.5536	
(3)	FB : back focus (FB)	40.3373	
(4)	FNO : F-number	2.7771	
(5)	PP1 : PP1	12.8591	
(6)	PP2 : PP2	-9.2164	
(7)	LWID : lens width	25.0000	
(8)	LTRK : lens track	65.3373	
(9)	TTKD : total track+def.	65.3373	
(10)	ENTP : entrance pupil	11.2131	
(11)	EXTP : exit pupil	-10.9189	
(12)	FILT : filter size	9.2585	
(13)	LVAL : light value	0.4215	
(14)	PPAB : pupil aberration	-0.0350	
(15)	LWRH : lower ray maximum	-3.6669	
(16)	FRGH : flange height	7.4491	

	1000/F	F	PP1	PP2	SUM-D	kappa	kappa'	tau	F1	F2
1-th pos. (1-11)	20.18015	49.5536	12.8591	-9.2164	25.0000	0.2595	-0.1860	0.5045	-36.6945	40.3373

IRIS= 6 HHPs= 1.2500 KFISH= 0 NAINP= 0 KHADJY= 0 K_BTRACE_CRD= 0

..... zoom position No. = 1, F= 49.5536, objective distance= -0.1000D+23

OBJD= -0.1000000D+23 SAU= 8.9219 SAL= 0.0000 QNTP= 11.2131 def.= 0.0000 (Fb+def.)= 40.3373
 NZMEQ= 0 FNO(using ray)= 2.662 ; N.A. (object side)= 0.00000 N.A. (image side)= 0.18463

* chief-Y : Y-value on pupil plane of a ray which passes center of real pupil
 * Y' : value on defocused plane

IHI	LSL	LSU	RSO	VT	S0	deg.	Y'	deg.	HHL	HHU	SAG.M.	chief-Y
F1	1	11	1.00	0.42	-0.4326	(23.4)	21.2405	(22.6)	-4.4078	3.7839	8.1914	-0.0221
F2	1	11	0.70	0.60	-0.3028	(16.8)	14.9393	(16.3)	-5.7622	5.4696	8.5703	-0.0052
F3	1	11	0.50	0.72	-0.2163	(12.2)	10.6946	(11.8)	-6.6648	6.5066	8.7422	-0.0015
F4	1	11	0.90	0.48	-0.3893	(21.3)	19.1498	(20.6)	-4.8596	4.3675	8.3359	-0.0142
F5	1	11	0.30	0.84	-0.1298	(7.4)	6.4269	(7.2)	-7.5674	7.4973	8.8555	-0.0003
F0	1	1	0.00	1.00	0.0000	(0.0)	0.0000	(0.0)	-8.9219	8.9219	8.9219	0.0000

<資料 : 5-5-C >

violated boundary data (LEVEL=negative value -> neglect this boundary, IBD=non-zero -> en-count for A-matrix)

no.	LEVEL	IBD	ISLT	present	last	lower	upper	weight
(77)	G(6)B-2	1	1 2	-0.00494	0.04901	0.00000	1000.00000	

iter. no.= 1 damping factor.= 0.5926D+02 PHAI= 0.4374D+03 APHAI= 0.2722D+04 boundary PHAI= 0.0000D+00
 DCOF10= 5.0000 DCOF3= 2.0000

merit function corresponding to KHDABR (total= 434.6288)

posi.	sum.	axis	IHI= 1	IHI= 2	IHI= 3	IHI= 4	IHI= 5
1 sag.	216.2595	11.3048	26.3688	58.9915	43.2231	59.4223	16.9490
mer.	218.3694	11.3048	22.6262	60.9009	47.7333	59.0799	16.7243

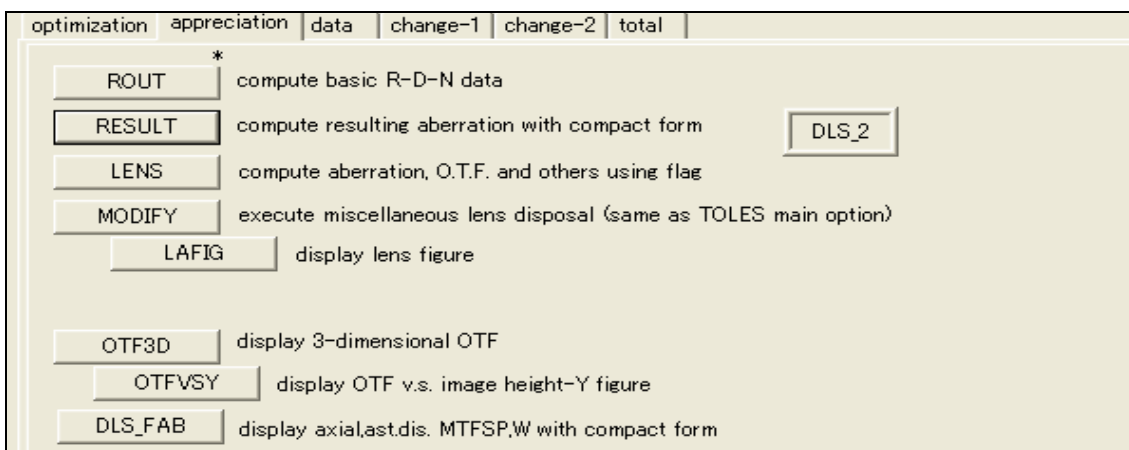
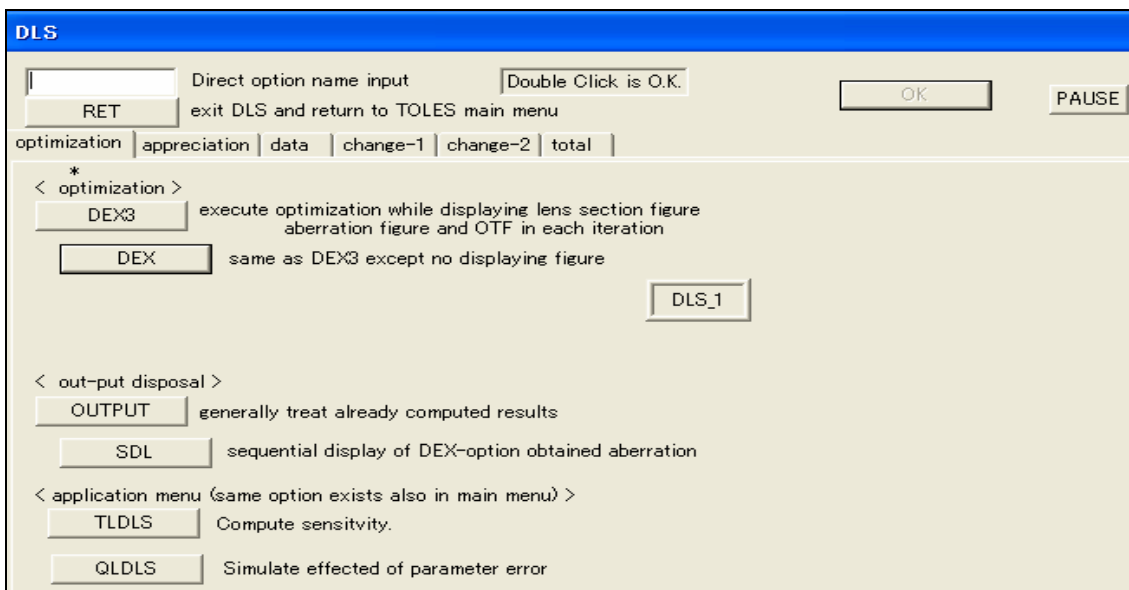
*: ISLT=01 given equality, \$: ISLT=02 specified equality, #: ISLT=02 but exists within lower and upper
 A,B: ISLT=02 but abandoned because of dependency to preceeding equality:A=aberration no., B=boundary no..

	PRESENT	LAST	TARGET	WEIGHT	INC.	PHAI	APHAI
(1)(1DEFLL)	49.5536	62.0755	50.0000	10.0000	-12.5219	1.9924	1458.1853
(2)(1DFB)#	40.3373	53.5966	38.5000L	1000.0000U	-13.2593	0.0000	0.0000
(3)(1LWID)\$	25.0000	20.0000	0.0000L	25.0000U	5.0000	0.0000	0.0000

(4) (1LVAL)#	0.4215	0.5548	0.3523L	10.0000U	-0.1333	0.0000	0.0000		
(5) (1DIS1)#	-0.9162	0.2401	-2.5000L	1.5000U	-1.1563	0.0000	0.0000		
(6) (1DIS2)#	-0.4370	0.1111	-1.5000L	1.0000U	-0.5481	0.0000	0.0000		
(7) (1S2wM-1S2wS)	-0.8604	-2.6267	0.0000	1.0000	1.7662	0.7404	6.8994		
* correlation factor (CORLMT= 0.9900)									
[(1DIS1)	\$ (1DIS2)] 1.000		[
* linear approximation(LP), requirement(RQ) and actual movement(MV)									
		LP	RQ	MV		LP	RQ	MV	
[(1LWID)]	5.0000	5.0000	5.0000	[G(1)B-2]	-0.0490	-0.0490	-0.0477
[G(2)B-2]	-0.0490	-0.0490	-0.0487	[G(3)B-1]	0.0210	0.0210	0.0225
[G(4)B-1]	0.0210	0.0210	0.0223	[G(5)B-2]	-0.0490	-0.0490	-0.0488
[G(6)B-2]	-0.0490	-0.0490	-0.0539	[

§5-6 DLS 各種の option

TOLES → DLS と進めば途中でいくつかの確認を経て、option の dialog として



optimization | appreciation | data | change-1 | change-2 | total |

*

< data disposal >

read or write certain iteration data from or into disk file

return to initial data of preceding DEX-option

export present R-D-N data to somewhere(LENS.CRD is renewed and copied)

re-new card image lens data

change lens name(core image only)

transfer present card image data file(LENS.CRD) to other file

< special disposal >

print initial DLS data

display numerical value and input card image data of aberration to screen

execute newton plate fitting

re-decide ray co-ord.(HSAG) or object (YSAG)

optimization | appreciation | data | change-1 | change-2 | total |

*

Change DLS controll data by Dialog disposal

insert new aberration using symbolic method

edit DLS-controll data using screen editor

above using CSE-editor

print DLS controll and aberration cards

modify used data for KHDABR by screen editor

newly generate above data

change spot aberration target by present value

reverse above to original state (all zero)

change aspherical surface DLS controll parameter (variable or not variable)

change constituent R-D-N data

change pupil shape used for KHADJY

give perturbation to lens system used as re-start data

optimization | appreciation | data | change-1 | change-2 | total

*

EDTBDR change boundary parameter by screen editor
(at first loose value is given to lower boundar of D for the sake of aberration)

GENBDR re-new all boundary parameter

CHGLBD change lower boundary of D to strict value .
Lower limit for axial lens thickness or space is decided by considering
lens height and marginal thickness or space.. Be careful excess movement might occur.

EDTPRW change parameter weight by screen editor

GENPRW re-new all parameter weight

DLS_5

< miscellaneous disposal >

DEFCHG change defocus (DEFCHG_OLD still exists)

INITIAL_FLAG change initial data condition

optimization | appreciation | data | change-1 | change-2 | total

< optimization >	< appreciation >	< data > *	< change-1 >	< change-2 >
DEX3	ROUT	ROW	DCTCHG	EDTBDR
DEX	RESULT	RST		GENBDR
	LENS	EXPORT_RDN	SYMABI	CHGLBD
	MODIFY	LCOPY	EDTDCT	EDTPRW
OUTPUT	LAFIG	EDTLNM	EDTDCT_CSE	GENPRW
		TRSLOR	PRNDCT	DEFCHG
SDL	OTF3D	ITL	HIDCHG	
	OTFVSY	DPLABR	GENHDT	INITIAL_FLAG
	DLS_FAB	NEWTON	CHGTRG	
TLDLS		HYSAG	REVTRG	
QLDLS			NASCHG	3 K_EDIT_SIZE
			RDN	
			PUPCHG	DLS_6
			MARUME	

が与えられる。**DEX3**は前節で用いたが各 iteration 状態の断面図と収差図を出力しながら最適化を行うものであり**DEX**はその簡略型である。**TLDLS**と**QLDLS**は後程説明する。この page の下半分**OUTPUT**～**SDL**は**DEX**で得られた data を様々な形で出力するもので

各人試してみるとよい。次に得られた結果の評価用として 2 ページ目があるが **MODIFY**, **OTF3D**, **OTFVSY** は別個説明する。

TOLES に於ける lens data は下図の如く

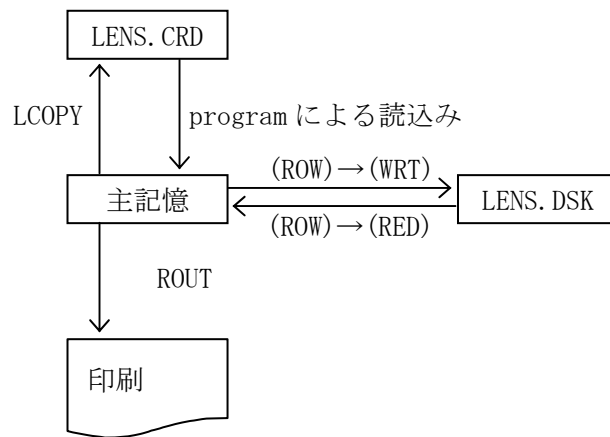


図 5-2

配置され、**DEX** で作られた data は iteration 番号で管理され、LENS.DSK の file に保持されている。この時 optimization を行っても LENS.CRD file の中味は start data のままなので主記憶上に存在する data を LENS.CRD 上に永久に保存するためには **LCOPY** または **EXPRT_RDN** を行う。

main menu に入った後の状態でいろいろな data (boundary, parameter weight etc) を変更しても、それは主記憶上のみなので、Job の終了と共に消えてしまうので必要に応じて **LCOPY** を行う。最適化の過程で入射瞳上の光線座標は変化するが、**HYSAG** を選べば、光線座標が再計算される (子午面内については各 iteration 毎に調整されている)。DLS の controll の変更としてはすでに説明した **DCTCHG** が与えられて居り、収差の変更は **EDTDCT** によって行われる。さらに **EDTPRW** を選べばスクリーンは

surface curvature							
	weight	increment	height-Y	height-Z	height-X	unit	
R(1)	1.0000	0.0000100	8.9219	0.0000	0.0000	0.1000	
R(2)	1.0000	0.0000100	8.7867	0.0000	0.0000	0.1000	
R(3)	1.0000	0.0000100	8.7151	0.0000	0.0000	0.1000	
R(4)	1.0000	0.0000100	8.4429	0.0000	0.0000	0.1000	
R(5)	1.0000	0.0000100	8.2510	0.0000	0.0000	0.1000	
R(6)	1.0000	0.0000100	8.0634	0.0000	0.0000	0.1000	
R(7)	1.0000	0.0000100	7.8709	0.0000	0.0000	0.1000	
R(8)	1.0000	0.0000100	7.8895	0.0000	0.0000	0.1000	
R(9)	1.0000	0.0000100	7.9185	0.0000	0.0000	0.1000	
R(10)	1.0000	0.0000100	7.8777	0.0000	0.0000	0.1000	
R(11)	1.0000	0.0000100	7.7762	0.0000	0.0000	0.1000	
R(12)	1.0000	0.0000100	21.6300	0.0000	0.0000	0.1000	
lens thickness or space							
	weight	increment	height-Y	height-Z	height-X	unit	
D(1)	10.0000	0.0001000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000	
D(2)	10.0000	0.0001000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000	
D(3)	10.0000	0.0001000	0.0000	0.0000	0.0000	0.1000	

となるが、このなかの weight は(5-5)式の μ_j 、increment は(5-4)式の ε_j 、height-Y、Z、Xは面形状のパラメーターの増分を決定する面上の座標であり、unit はこの変数の動きの単位である。Height-Xは gradient index に於いてのみ使用される。

以上の option を 1-page に配置したものが 6 ページ目であり、習熟すればこのページを用いる。

§5-7 Newton 合わせ

lens 設計が性能面で完了した後で、性能を損なわない範囲において既存の Newton 板を利用できるように R を変更する必要がある。これは Newton 板の table を見ながらでも可能であるが、 R の差はその絶対値には関係なく Newton の本数であるため、端厚の差を見ながら合わせて行く必要がある。これを行うには第 9-file(通常 NEWTON.CRD)上に Newton 板の data を用意する必要があるが、過去の data との整合性のため<資料:5-7-A>の前半の例のように、最初の 2 行には空白を入れ、続いて 10-column 刻みで 1 行に 8 個の data を入れて行く(最大で 4000)。その後、menu を辿って NEWTON を動かせば、menu として

```
1023 pieces of newton plates are found
DLS --> NEWTON
(R, )    = return to main
(CPT)    = compute neighboring newton plate
(RAG)    = re-arrange newton plate to another file
(PRN)    = print newton plate in sequence
(CHG)    = change newton plate number to be displayed
(OUTPUT) = treat already computed results
```

が与えられ、CPT を選べば<資料:5-7-A>の後半のように隣接する Newton 板の R 、最大高での端厚の差、最大高が与えられる。

この時 R -変更後収差を再度最適化するが、**CHGTRG** を変更前に行って居くと一括収差の目標値がその data の収差の値に変更される。勿論 **REVTRG** を選べば再びすべて零とされる。この手段を使うと R -変更前の収差状況に比較的早く復帰出来る。

<資料:5-7-A>

1:													
2:													
3:	1.550	3.353	3.920	4.057	4.456	4.560	5.145	5.495					
4:	5.850	6.140	6.209	6.641	6.820	6.896	7.000	7.100					
5:	7.130	7.240	7.270	7.447	7.660	7.668	7.720	7.760					
6:	8.000	8.118	8.310	8.397	8.434	8.630	8.890	9.030					
7:	9.277	9.367	9.425	9.500	9.620	9.687	9.698	9.724					
8:	9.861	9.916	9.930	9.950	10.007	10.042	10.060	10.102					
9:	10.214	10.274	10.320	10.450	10.540	10.644	10.768	10.775					
10:	10.792	10.991	11.004	11.021	11.062	11.160	11.232	11.250					
11:	11.327	11.412	11.470	11.473	11.500	11.530	11.555	11.614					
12:	11.730	11.860	12.000	12.008	12.100	12.321	12.341	12.420					
13:	12.438	12.450	12.687	12.700	12.890	12.901	12.940	12.960					

(335)	36.5000	0.0035	8.93	(692)	111.9300	0.0002	8.78	(141)	16.7000	0.0057	8.49	
(# 1)	36.6122			(# 2)	111.9949			(# 3)	16.7351			
(336)	36.9130	-0.0093	8.93	(693)	113.2080	-0.0037	8.78	(142)	16.8400	-0.0167	8.49	
(784)	170.0160	0.0004	8.07	(98)	13.5350	0.0061	6.65	(128)	15.2000	0.0008	6.64	
(# 4)	170.3873			(# 5)	13.5766			(# 7)	15.2074			
(785)	172.0000	-0.0018	8.07	(99)	13.6000	-0.0034	6.65	(129)	15.3500	-0.0157	6.64	
(317)	34.4920	0.0018	7.18	(183)	20.6500	0.0069	7.40	(980)	786.7600	0.0006	7.34	
(# 8)	34.5708			(# 9)	20.7474			(# 10)	800.7604			
(318)	34.7900	-0.0049	7.18	(184)	20.8400	-0.0065	7.40	(981)	808.7300	-0.0003	7.34	
(366)	41.4040	0.0004	7.32	(
(# 11)	41.4318			(#								
(367)	41.5770	-0.0023	7.32	(

§5-8 収差の等式、不等式による取り扱い

既説のごとく、収差は(3-4)式のごとく自乗和が最小になるように取扱うのが大部分であるが、等式又は不等式タイプも使用される。

領域型の場合、その領域を侵せばその侵した側の境界上のあることを条件として等式に変換されるが、この時すでに等式として処理されている方程式との相関(s 、 k 番目の場合)を

$$\gamma_{sk} = \frac{\sum_{i=1}^m A_{si} A_{ki}}{\left(\sum_{i=1}^m A_{si}^2\right)^{1/2} \left(\sum_{i=1}^m A_{ki}^2\right)^{1/2}}$$

によって計算し、その値が CORLMT(通常:0.99)より大きい時は放棄するようになっている。この相関の絶対値が 0.7 以上に対し、収差情報の後(資料:5-5-C)の下から 5 行目)で出力される。しかしながら、どんなレンズであれ、収差間の相関はかなり大きなものであり、相関の強い中をどのように系を改善するかがレンズ設計者の腕の見せ所である。このように領域を侵したにもかかわらず他の収差との相関で放置された収差は screen 上に書き出され、出力 file 上では A または B の後に相手側の収差または境界の番号が出力される。

等式を用いた場合は、 ϕ の変化は iteration に対して必ずしも単調にはならず、ある所で

急激に増大することも頻繁に起こるため、parameter movement を常に監視する必要がある。

レンズ設計の過程において F_{IT} はほぼ決まっており、 W_i も余り劇的には影響しないが(解が近傍にあれば W_i に拘わらず解に収束する)、1 個の等式・不等式の増減で系の変化はその様相がまるで異なってくる。このことから、等式・不等式と初期 data の選択がレンズ設計の急所と言える。

§ 5-9 絞り径が与えられた場合の取扱い

lens 系の使用する絞りの半径は本来設計が終了した状態で決定されるべきであるが、すでに生産されている lens を改善するような場合は自動の途中で絞り径を一定にしたい場合がある。このような場合には FNO を収差として選択し、絞り面の TAKASA に使用する絞りの半径を入れれば前述の条件を満足しながら自動設計を行うことができる。この時 D. L. S. では parameter の変更がある毎に球面光線の高さ SAU を変更し、軸上 marginal 光線が絞り面上で与えられた高さを通るように調整している。

また、このように絞り面の TAKASA が与えられた時は、program 内部で KAXSG=1 として通過可能な軸上光線の最大値を求めるようになっている。

§ 5-10 一括収差による最適化(KHDABR)

最近の計算機の数値、容量が従来に比べて極端に向上したために、従来では考えられなかった使用法が用いられるようになった。すなわち、従来は光学系の自由度(～100)程度の収差を選択し、それによって系を改善していたが、最近では最大十万個の収差を F_i として取扱うようになり、program 自体も 200MB 程度になって来ている。

KHDABR=1 とした時の追跡光束の有様は、DLS→ITL において INTHID(initial hidden aberration)に flag を立てれば<資料:5-10-A>のごとき出力が得られる。

<資料 : 5-10-A>

hidden aberration basic data

used aberration no. (max. = 100000) = 2260 NZOOM= 1 IRO= 5

```

# aberration counted number for each object for 1 spectrum

      NS=non-symmetric nature: 0=rot.sym. 1=sagittal sym. 2=no-sym.

position  NS      axis      ( 1)      ( 2)      ( 3)      ( 4)      ( 5)
( 1)    0        80        72        76        76        72        76

# MESHNY  MESHNZ  KSQMSH  IRSCNT  KWTCNT  KHDWFA  KSYMAB  KBFOPT  KUSSCF
10       10       0        0        0        0        0        0        0

MESHNY: mesh number in meridional section (max. 30)
MESHNZ: mesh number in sagittal section
KSQMSH: if this value is 1 ray pitch in Z-direction is set equal to Y-direction,
        so MESHNZ is neglected
IRSCNT: use image point of ray which passes center of iris as origin
KWTCNT: use weight center as origin
KHDWFA: flag to use wave front aberration instead of ray aberration
KSYMAB: flag to use symmetric procedure(value of symmetric aberration is multiplied by this value

KBFOPT: flag to optimize using best frequency(OTBEST)
        1--> use geometrical OTF, 2--> use diffraction counted
KUSSCF: optimize above with two frequency(OTBEST_2,WGT_2)

# weight for symmetric aberration(WSYMAB)=      1.0000

# each position weight(sagittal)
( 1)  1.0000 (

# each position weight(meridional)
( 1)  1.0000 (

# sagittal weight for each object
position      axis      ( 1)      ( 2)      ( 3)      ( 4)      ( 5)
( 1)    1.0000  0.1000  0.5000  0.8750  0.3000  0.9000

# meridional weight for each object
position      axis      ( 1)      ( 2)      ( 3)      ( 4)      ( 5)
( 1)    1.0000  0.1000  0.5000  0.8750  0.3000  0.9000

```

ray weight is given by $1.0/(A*(Y**2+Z**2)**alpha)$
 where A is normalization constant
 If alpha is positive flare is treated relatively light

alpha value for each object

position	axis	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
(1)	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000

colour weight for each position

position	D	G	C	F	E
(1)	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

この出力の最初の部分では F_i として採用された収差の総数が 2260 で、軸上で各スペクトル線毎に 40、第 1 軸外で 38 本が追跡されることを示している。これより全体では 1130 本が追跡され、その Δy と Δz が F_i となり合計 2260 個となるわけである。入射瞳の分割は図 4-2 で HHU と HHL の間を 10 等分 (MESHY) し、SAGL と SAGM の間を 10 等分 (MESHZ) している。この分割では mesh が長方形になるため、正方形にしたい時は KSQMSH (square mesh) = 1 とすれば、MESHZ を無視し、 y -方向で得られた pitch で z -方向も分割するようになる。光線収差 Δy , Δz の原点は図 4-2 の HHU と HHL の中点を通った光線が像面と交わる点としているが、IRSCNT (iris center) が 1 の時は実絞りの中心を通る光線と像面との交点を原点とし、KWTCNT (weight center) が 1 の時は重心を原点とする。また、 Δy , Δz に代って波面収差を F_i として用いるときは KHDWFA を用いる。(5-1)式における weight としては

$$W = W(f) \cdot W(y, \theta) \cdot W(Y, Z) \cdot W(\lambda)$$

の形を採用しておりそれぞれ

$W(f)$: 各 zoom position 毎の weight

$W(y, \theta)$: y' を像高、 $\theta = 0$ を meridional、 $\theta = \pi/2$ を sagittal とする weight

$W(Y, Z)$: 入射瞳の原点 (図 4-2 の HHU と HHL の中点) から見た追跡する光線の座標を (Y, Z) とする時、この光線に対する weight を

$$\frac{1}{A(Y^2 + Z^2)^\alpha}$$

の形で与えるが、この値。ただし、 A は normalization constant であり、 $\alpha > 0$ では原点に近いと大きく周辺は小さいため、非点収差重視の形になっている。

$W(\lambda)$: 各スペクトル線に対する weight

である。これまで述べた parameter の入力は HIDCHG を選べば screen 上に〈資料:5-10-B〉が現れるので必要ならば修正する。整数型の入力と $W(\lambda)$ はそのまま直接入力であるが、その他は代表値を読み込んで後処理する形式をとっている。この値で DLS 中の LCOPY を行えば、〈資料:5-10-B〉の形式の data が LENS. CRD の最終部分に付加され、Editor による修正や保存が可能となる。

〈資料 : 5-10-B〉

```
c
c name of this file = HIDABR. CHG
c
*
* MESHNY : mesh number used in meridional section
* MESHNZ :   above for sagittal section
* KSQMSH : If this value is non-zero, Z-direction pitch
*           is set equal to Y-direction. So MESHNZ is neglected
*
* IRSCNT : flag to use image point of a ray
*           which passes center of iris as spot origin
* KWTCNT : flag to use gravitation center as spot origin
*
* KHDWFA : flag to use wave front aberration
* KSYMAB : flag to use symmetric procedure for performance function
* weight for this aberration is WSYMAB
*
* KBFOPT : flag to optimize OTF at best frequency (OTBEST)
* 1--> use geometrical OTF, 2--> use diffraction counted
* KUSSCF : optimize above with two frequency (OTBEST_2, WGT_2)
*
* MESHNY  MESHNZ  KSQMSH  IRSCNT  KWTCNT  KHDWFA  KSYMAB  KBFOPT  KUSSCF
*      10      10       0       0       0       0       0       0       0
*
```

```

* position selection to execute spot aberration
*
*           1-->execute spot aberration  0--> not
*
*           but if blank line, all position is selected
*
*
* ALPHA : representative value of alpha
* ray weight is given by  $1.0/(A*(Y**2+Z**2)**alpha)$ 
*
*   where A is normalization constant
*
*   If alpha is positive flare is treated relatively light
*
*
* WSYMAB : weight for symmetric disposed aberration
*
*
* OTBEST_2 : second frequency for KUSSCF-option
* WGT_2     : weight for second frequency against first frequency
*
*
*   ALPHA   WSYMAB  OTBEST_2   WGT_2
*   0.5     1.0     20.0000    1.0
*
*
* IG=INTGL_PIT : integral pitch to compute above OTF
*
*   if IG=0, 1 is supplied and if IG=2, data stock memory is half reduced
*
* KQ=K_QUICK_BFOPT_W : speed up dif. OTF optimize
*
*           but some subsidiary aberration cannot be controlled
*
* IG  KQ
*
*   0   0
*
*
* 1-blank lines for future use
*
*
* sagittal representative weight for each object
*
*   axis      (1)      (2)      (3)      (4)      (5)
*
*   1.0000   0.1000   0.5000   0.8750   0.3000   0.9000
*
*
*           meridional of above
*
*   1.0000   0.1000   0.5000   0.8750   0.3000   0.9000
*
* representative weight for each spectrum
*
*   (d)      (g)      (C)      (F)      (e)      (H)

```

```

1.0000  1.0000  1.000  1.000  1.000  1.000
*
* -----  from here please specify position at 9,10-column -----
*
*   sagittal and meridonal weight for given position(IPOS)
*   IPOS   SAGWGT   MERWGT
*   01     1.0     1.0
*
*                               ! blank line to detach input
*
* sagittal weight for each object at given position(IPOS)
*   IPOS  axis   (1)   (2)   (3)   (4)   (5)
*   01   1.0   0.1   0.5   0.875  0.3   0.9
*
*                               ! blank line to detach input
*
* meridional weight for each object at given position(IPOS)
*   IPOS  axis   (1)   (2)   (3)   (4)   (5)
*   01   1.0   0.1   0.5   0.875  0.3   0.9
*
*                               ! blank line to detach input
*
* alpha value for each object at given position(IPOS)
*   IPOS  axis   (1)   (2)   (3)   (4)   (5)
*   01   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5   0.5
*
*                               ! blank line to detach input
*
* colour weight for given zoom position(IPOS)
*   IPOS  (d)   (g)   (C)   (F)   (e)   (H)
*   01   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0   1.0
*
*                               ! blank line to detach input

```

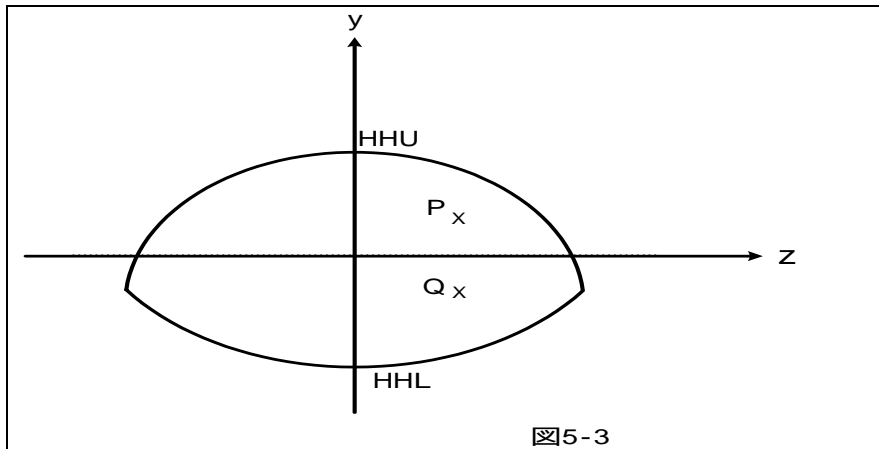
の **data** 変更において **KSYMA=1** とすれば **meridional** 方向の収差の対称性を確保しようとしながら最適化を行う。即ち右図の如く、子午断面の中心 **0** を通り、子午断面と直交する球欠断面を考え、この軸に対称な点 **P**、**Q** を考え、新たな収差として

$$A = (\Delta y)_p + (\Delta y)_q$$

$$B = (\Delta y)_p - (\Delta y)_q$$

を作り、これを新たな収差として最適化を行う。この時 **B** に対する weight は従来通りであ

るが、 A に対する weight は WSYMAB で与える。



KBFOPT(best frequency optimize)は $\Delta y, \Delta z$ を小さくするのではなく OTFBST で与えられる周波数に対する OTF を最適化する命令であり、**KUSSCF**(use second frequency)は第二周波数に対してもある割合で最適化をする命令であり、§ 5-12 に於いて具体的に説明する。

さらに一括収差(KADABR=1)によって系を optimize する際に DFS で与えられた defocus 上のみならず、この defocus から DFP だけ離れた defocus(つまり DFS+DFP)に対する一括収差も同時に optimize する option である。つまり、これによって焦点深度がより大きな収差 balance を得ようとするものである。**MLTDEF**は**DCTCHG**の 2-page 目の parameter で 0 ならば従来通り DFS で与えられる defocus のみに対する一括収差を最適化するが non-zero ならば MLTDEF 個の defocus 面上の収差に対して最適化を行う。例えば DFS=0.0, DFP=-0.1 で MLTDEF=2 として最適化を行えば gauss 像面上と-0.1 の defocus に対して最適化が行われる。この option によって計算時間の増加はあまりないが、最大収差数 (10 万) には注意する必要がある。

§ 5-11 DLS 実行例

Gauss Type で 50/2.8 の設計を紹介したが、これも含めいくつかの設計例を紹介する。start data はすべてサブディレクトリ TEST_DATA\DLS¥の中にあるので、この内で対応した file を LENS.CRD に copy し、最適化すれば良いが、初めから作るとすれば

TOLES → **LCARD** → **NEWGEN**

と進み、各面の data を入力した後に **DLCTGN** を選び必要な収差を選択すれば良い。選択する収差は特に断わらない限り、F, FB, LWID (lens width), LVAL (light value), DIS1 (distortion at 1-st off axis), DIS2, (S2wM-S2wS) (difference between meridional spot minimum

and sagittal one)を用いることにする。

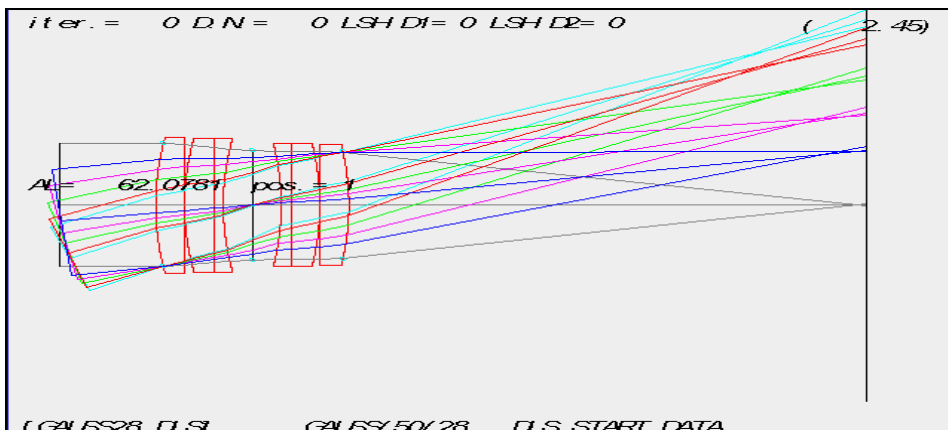
§5-11-1 50/28 Gauss type の設計 : [GAUSS28.DLS]

最も単純な gauss type として、

```

c
c
c   R      D      glass-name      Nd      V      :      surf
c 50.0000  3.0000 BK7      1.516330  64.2510 : 1-th surf
c  0.0000  0.0000      :      2-th surf
c 50.0000  3.0000 BK7      1.516330  64.2510 : 3-th surf
c  0.0000  1.0000 F2      1.620040  36.2813 : 4-th surf
c 50.0000  3.0000      :      5-th surf
c  0.0000  3.0000      :      6-th surf
c -50.0000  1.0000 F2      1.620040  36.2813 : 7-th surf
c  0.0000  3.0000 BK7      1.516330  64.2510 : 8-th surf
c -50.0000  0.0000      :      9-th surf
c  0.0000  3.0000 BK7      1.516330  64.2510 : 10-th surf
c -50.0000  0.0000      :      11-th surf
c
c   each surface KONIC-value 1-> not variable, 2->variable
c 000000000000
c

```



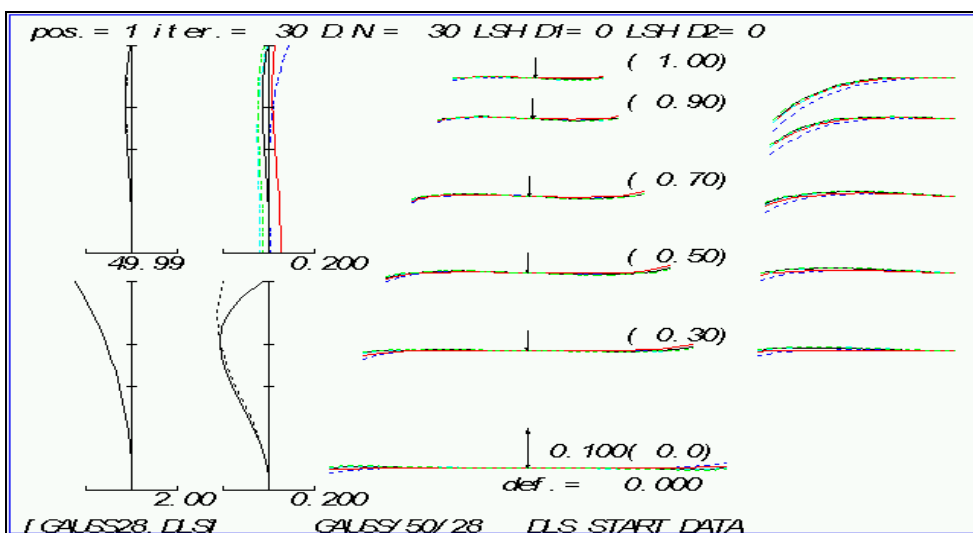
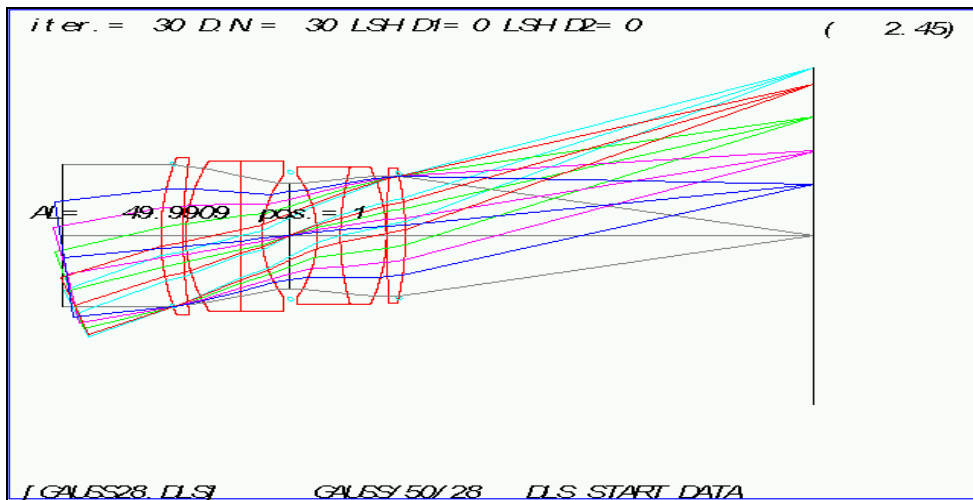
を start data とし、全可変で control 収差として7個の収差を

```

c
c * aberration controll at 1-th zoom position
c (PARA/F Z1, C1.) TARGET= 50.0000 WEIGHT=10.0 : 62.0781 (1DEFL
c 38.5000 < (PARA/FB Z1, C1.) <1000. : 53.5992 (1DFB
c 0.0 < (K32/LWID Z1, ) < 25.0000 : 20.0000 (1LWID
c 0.3528 < (K32/LVAL Z1, ) < 10.0 : 0.5548 (1LVAL
c
c -2.5000 < (TR/DIST Z1, F1, C1.) < 1.5 : 0.2406 (1DIS1
c -1.5000 < (TR/DIST Z1, F2, C1.) < 1.0 : 0.1112 (1DIS2
c
c ((SPL/SPTBST Z1, /MR F2)-(SPL/SPTBST Z1, /SG F2)) T=0.0, W=1.0 : -2.6266
c ! blank line to detach aberration
c ! blank line to detach aberration

```

と選んで最適化を行えばその結果

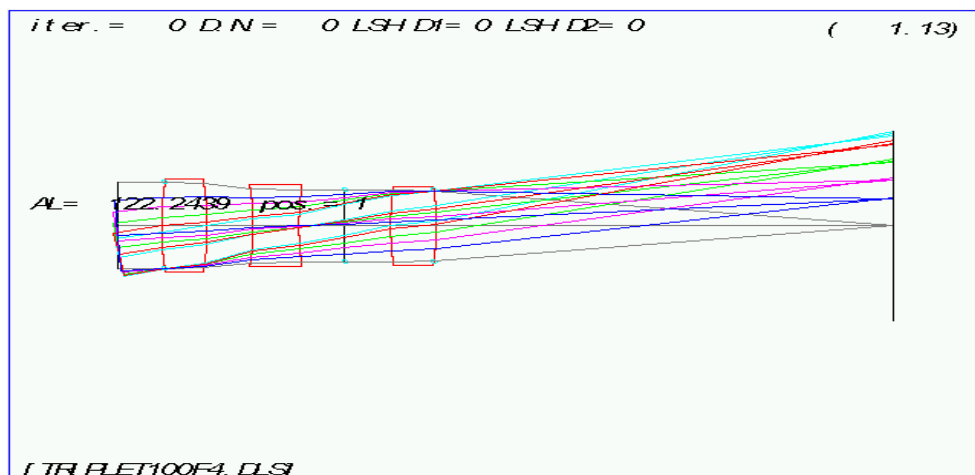


が得られる。lens width は original が 20mm の所を 25mm にゆるめてあるが、残りはすべて標準値である。

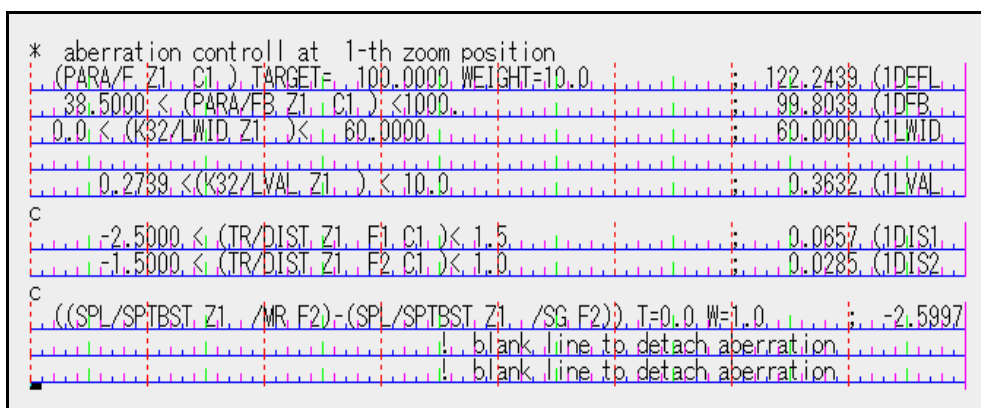
§ 5-11-2 100/4 Triplet の設計 : [TRIPLET 100F4.DLS]

単純な triplet

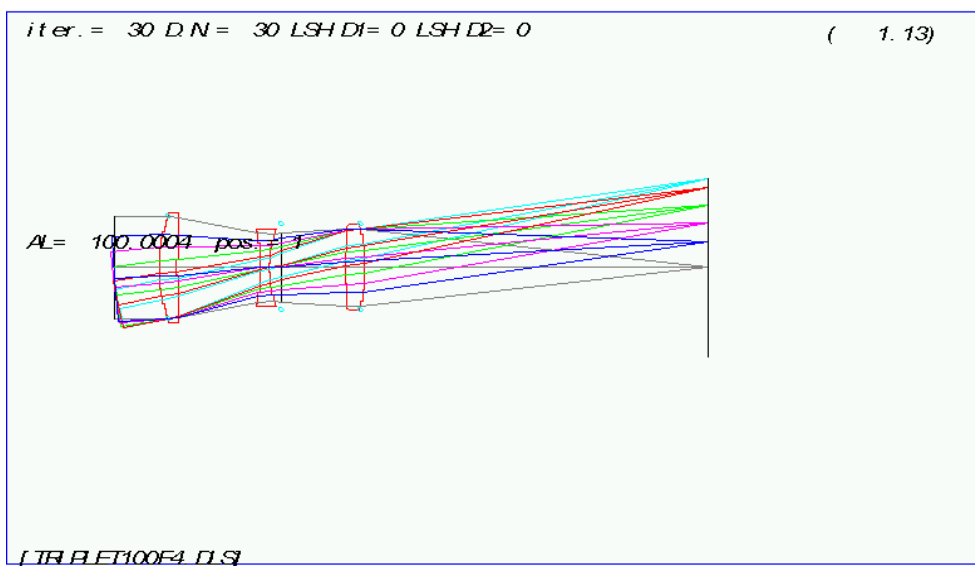
c	R	D	glass-name	Nd	V	
100.0000	10.0000	BK7	1.516330	64.2510	:	1-th surf.
-100.0000	10.0000				:	2-th surf.
-100.0000	10.0000	F2	1.620040	36.2813	:	3-th surf.
100.0000	10.0000				:	4-th surf.
0.0000	10.0000				:	5-th surf.
100.0000	10.0000	BK7	1.516330	64.2510	:	6-th surf.
-100.0000	0.0000				:	7-th surf.

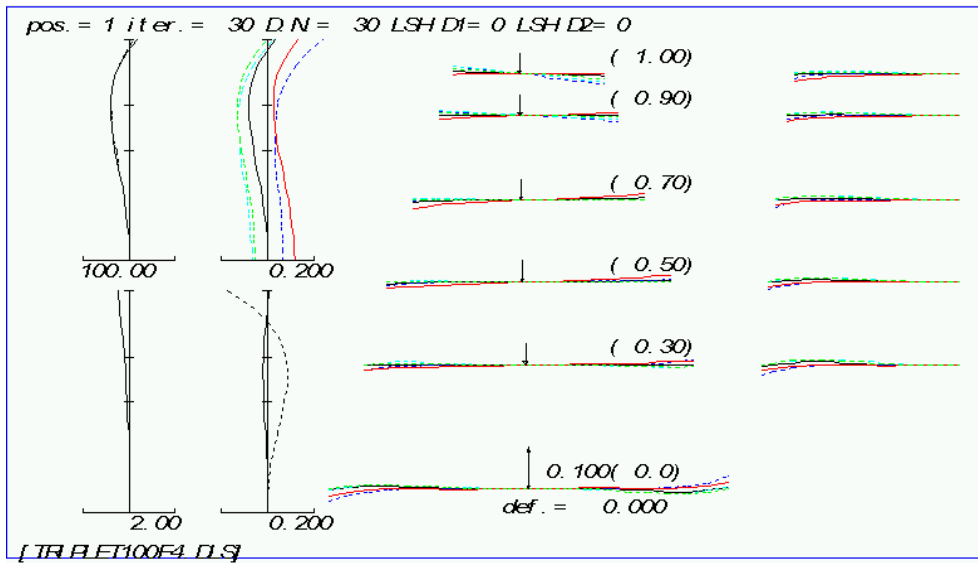


を start data とし、収差 control として



を採用して最適化をすれば、その結果として



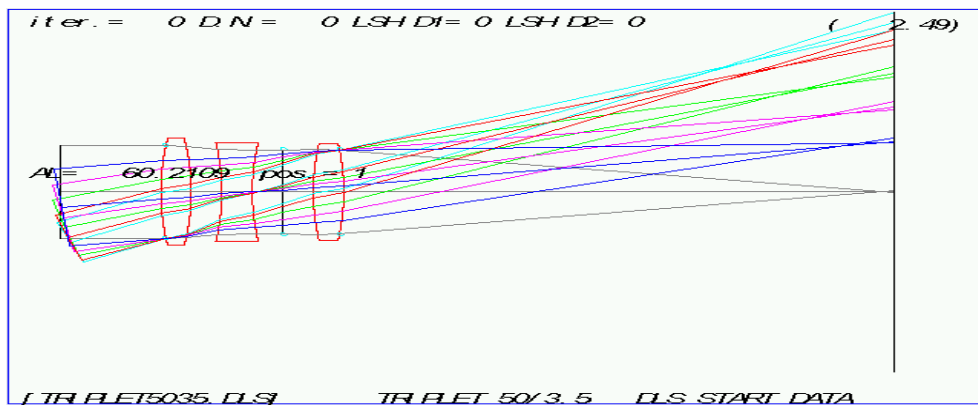


が得られる。

§5-11-3 50/3.5 Triplet の設計 : [TRIPLET5035.DLS]

triplet の start data として

c	R	D	glass-name	Nd	V	
50.0000	3.0000	BK7	1.516330	64.2510	:	1-th surf.
-50.0000	3.0000				:	2-th surf.
-50.0000	3.0000	F2	1.620040	36.2813	:	3-th surf.
50.0000	3.0000				:	4-th surf.
0.0000	3.0000				:	5-th surf.
50.0000	3.0000	BK7	1.516330	64.2510	:	6-th surf.
-50.0000	0.0000				:	7-th surf.



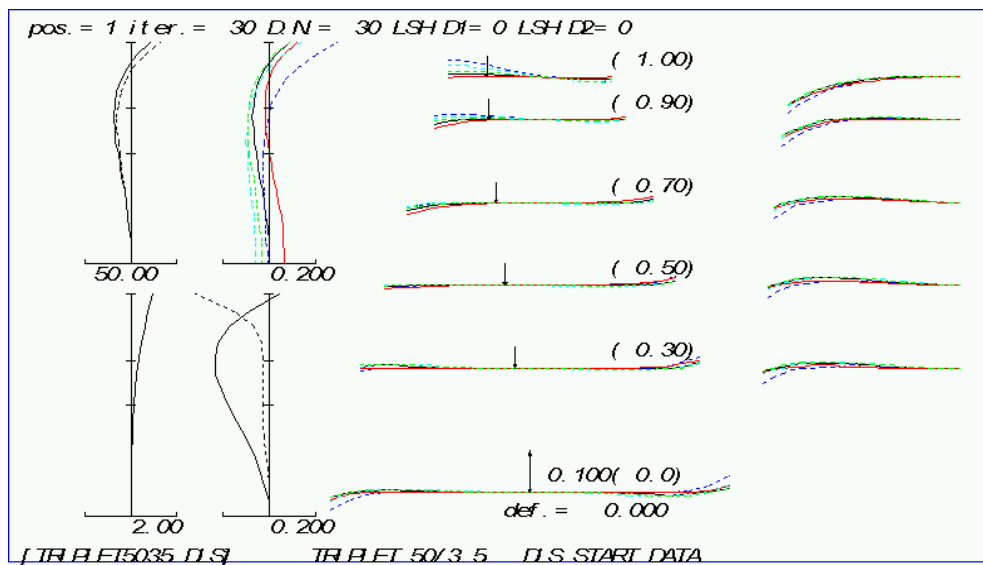
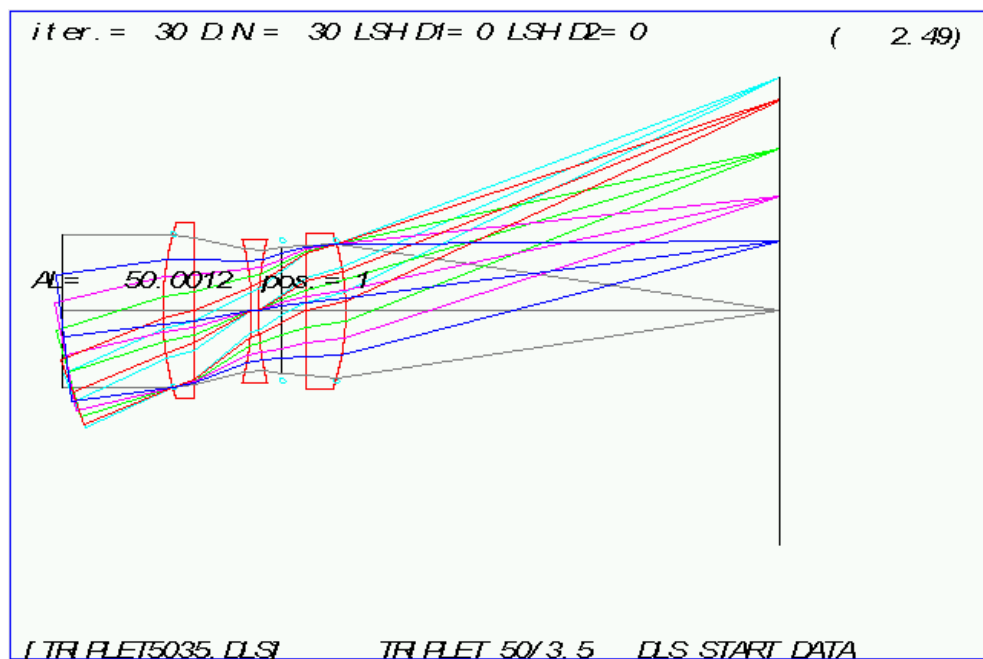
を作り、control 収差として

```

c
* aberration controll at 1-th zoom position
(PARA/F Z1 C1 ) TARGET= 50.0000 WEIGHT=10.0 60.2109 (1DEFL
38.5000 < (PARA/FB Z1 C1 ) < 1000. 54.1742 (1DFB
0.0 < (K32/LWID Z1 ) < 18.0000 18.0000 (1LWID
0.3523 < (K32/LVAL Z1 ) < 10.0 0.4288 (1LVAL
c
-2.5000 < (TR/DIST Z1 F1 C1 ) < 1.5 -0.7837 (1DIS1
-1.5000 < (TR/DIST Z1 F2 C1 ) < 1.0 -0.3717 (1DIS2
c
((SPL/SPTBST Z1 /MR F2)-(SPL/SPTBST Z1 /SG F2)) T=0.0 W=1.0 -4.4006

```

を採用して、最適化を行えば

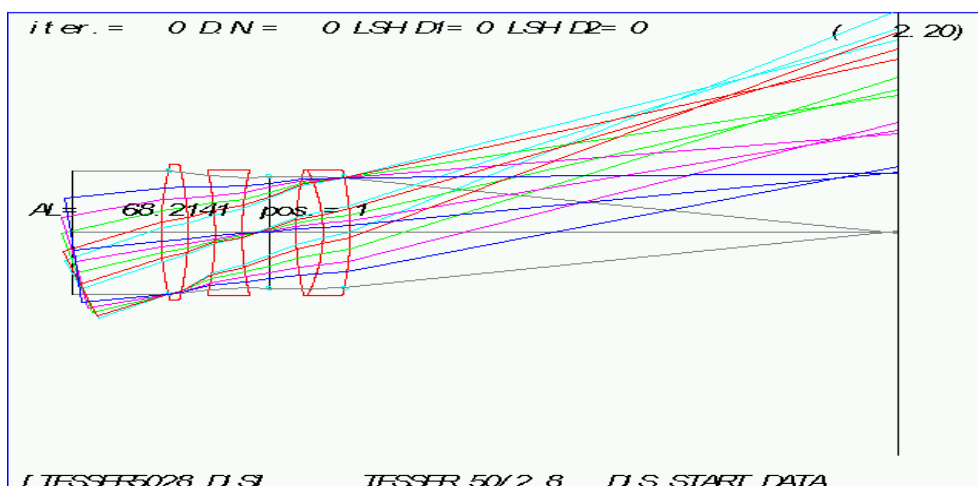


が得られる。

§5-11-4 50/2.8 Tessar の設計 [TESSAR 5028.DLS]

前節の初期 data において g_3 の単レンズから BK7 と F2 の張合せレンズに変更し、張合せ面の R を -25.0 とし、明るさを F/2.8 に変更した tessar として

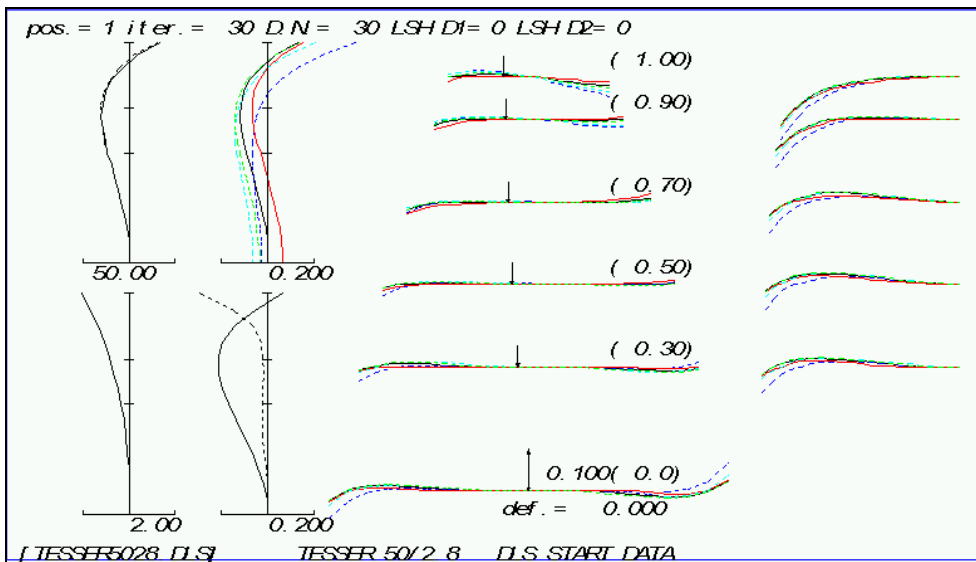
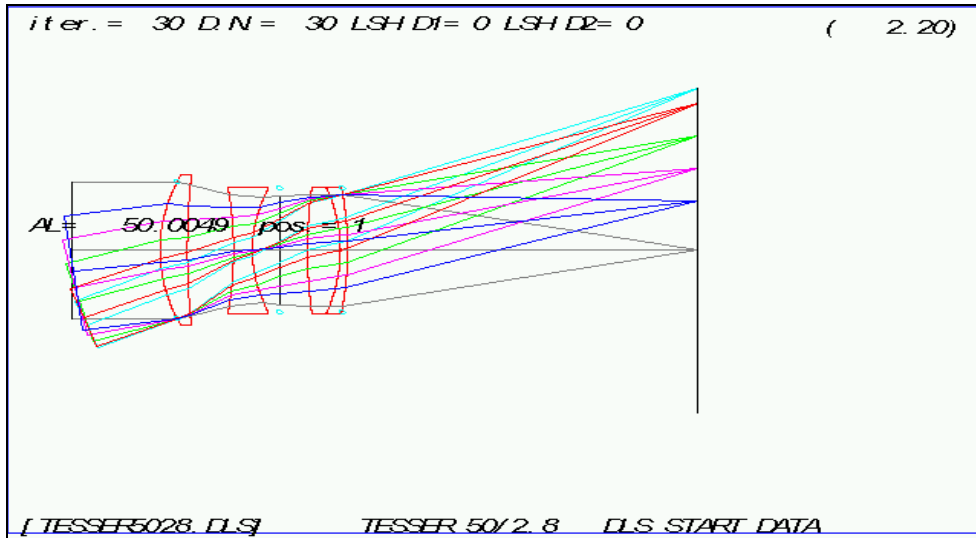
c	R	D	glass-name	Nd	V	
	50.0000	3.0000	BK7	1.516330	64.2510	: 1-th surf.
	-50.0000	3.0000				: 2-th surf.
	-50.0000	3.0000	F2	1.620040	36.2813	: 3-th surf.
	50.0000	3.0000				: 4-th surf.
	0.0000	3.0000				: 5-th surf.
	50.0000	3.0000	BK7	1.516330	64.2510	: 6-th surf.
	-25.0000	3.0000	F2	1.620040	36.2813	: 7-th surf.
	-50.0000	0.0000				: 8-th surf.



を start data とし、control 収差として

c	* aberration controll at 1-th zoom position		
	(PARA/F Z1, C1) TARGET=	50.0000 WEIGHT=10.0	68.2141 (1DEFL)
	38.5000 < (PARA/FB Z1, C1) <	1000.	60.9222 (1DFB)
	0.0 < (K32/LWID, Z1) <	21.0000	21.0000 (1LWID)
	0.3523 < (K32/LVAL, Z1) <	10.0	0.5019 (1LVAL)
c	-2.5000 < (TR/DIST, Z1, F1, C1) <	1.5	-0.3758 (1DIS1)
	-1.5000 < (TR/DIST, Z1, F2, C1) <	1.0	-0.1918 (1DIS2)
c	((SPL/SPTBST, Z1, /MR, F2)-(SPL/SPTBST, Z1, /SG, F2)) T=0.0, W=1.0		-5.4636

を用いれば、最適化の結果



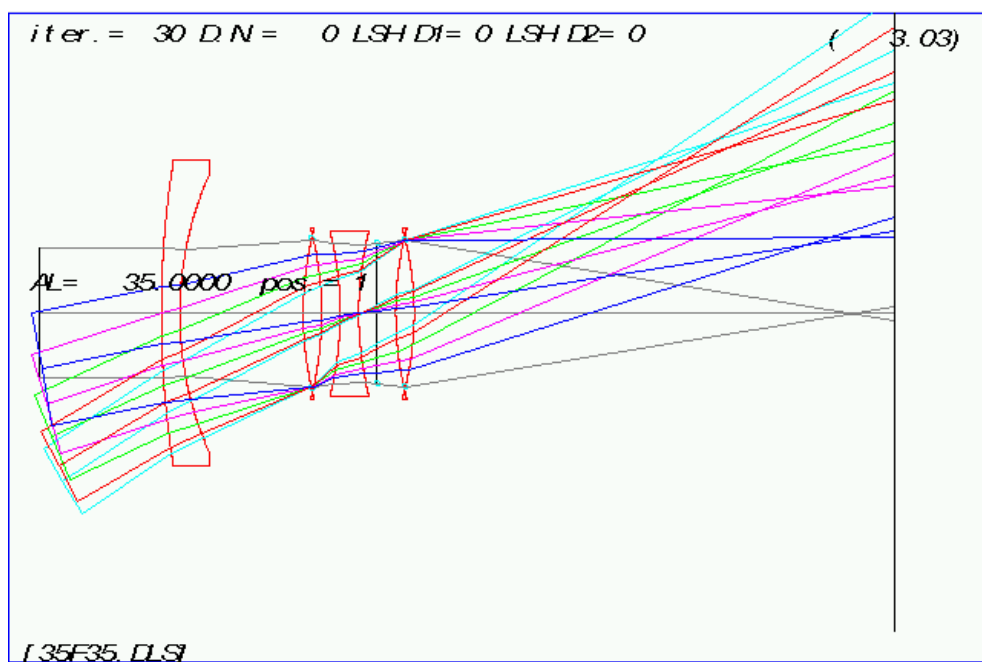
が得られる。

§5-11-5 35/3.5 の設計 : [35F35.DLS]

この実施例より広角レンズの分類になるが、まず §5-11-3 で用いた triplet を 1/2 に縮小し $f=25.0$ 位のレンズを作り、それを $R_1=70$, $R_2=25$, $d_1=1.5$, BK7 の単レンズ後方 10mm の位置に配置する。この初期 data はこれまでの経験から作ったものである。もし、もう少し elegant に作りたい時は、 $f=-70.0$ の meniscus lens を作り、これを triplet で -0.5 倍で結像するようにするのが良いであろう。この時 triplet の f は 25~30 の間で試してみて、外見上それらしいものを選ぶと良いであろう。この時、軸外光束は triplet の第 1 面(実際

は第3面)と最終面で押さえると良い。このような data として

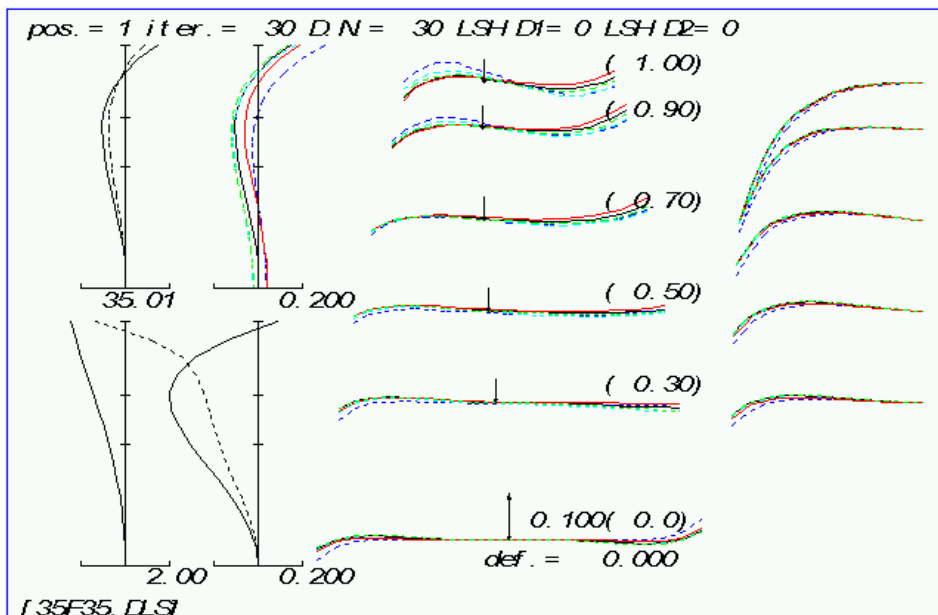
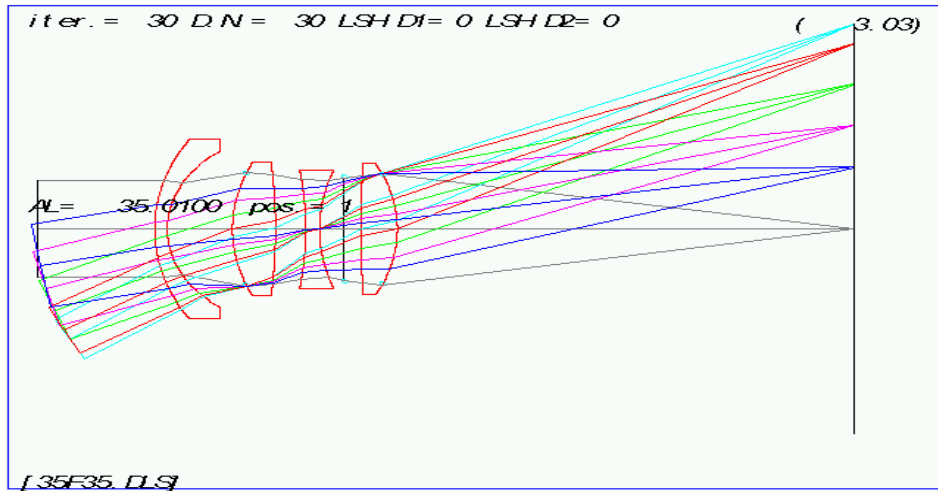
c	R	D	glass-name	Nd	V	
70.0000	1.5000	BK7	1.516330	64.2510	:	1-th surf.
25.0000	10.0000				:	2-th surf.
25.0000	1.5000	BK7	1.516330	64.2510	:	3-th surf.
-25.0000	1.5000				:	4-th surf.
-25.0000	1.5000	F2	1.620040	36.2813	:	5-th surf.
25.0000	1.5000				:	6-th surf.
0.0000	1.5000				:	7-th surf.
25.0000	1.5000	BK7	1.516330	64.2510	:	8-th surf.
-22.9448	0.0000				:	9-th surf.



を初期 data とし control として

* aberration controll at 1-th zoom position			
(PARA/F Z1, C1)	TARGET= 35.0000	WEIGHT=100.0	35.0000 (1DEFL)
(PARA/FB Z1, C1)	T=38.5	W=100.	38.9657 (1DFB)
0.0 < (K32/LWID Z1,) <	20.5000		20.5000 (1LWID)
0.4774 < (K32/LVAL Z1,) <	10.0		0.6395 (1LVAL)
-2.5000 < (TR/DIST Z1, F1, C1) <	1.5		-6.5030 (1DIS1)
-1.5000 < (TR/DIST Z1, F2, C1) <	1.0		-8.2639 (1DIS2)
((SPL/SPTBST Z1, /MR F2)-(SPL/SPTBST Z1, /SG F2)), T=0.0, W=1.0			-5.1327

を用いて最適化を行えば

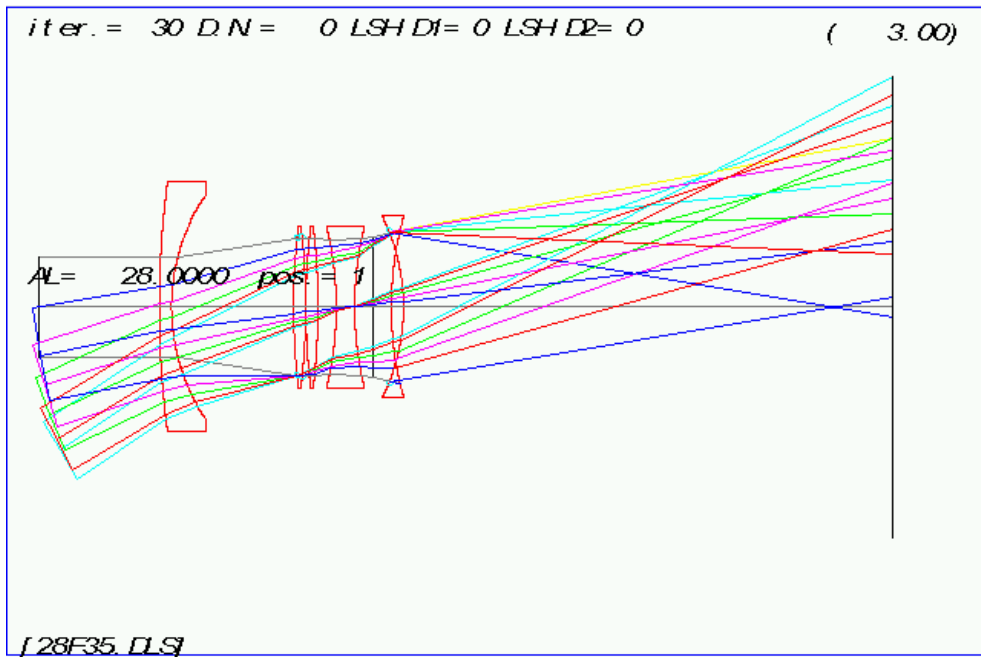


が得られる。

§5-11-6 28/3.5 の設計 : [28F35.DLS]

更なる広角の実施例として 28/3.5 を設計することにする。このためには前節の 35/3.5 における f_b を確保するために $R_2=15.0$ と強くする。さらに g_2 を同じ power の 2 個のレンズに分割し、絞り面を 4 面に変更する(このタイプでは g_4 の凹レンズと g_5 の凸レンズの間隔を拡げたままではうまく収束しない)。さらに焦点距離の確保のために最終面は bending で落とすとする。このようにして得た data

c	R	D	glass-name	Nd	V	
70.0000	1.0000	F2		1.620040	36.2813	1-th surf.
15.0000	10.0000					2-th surf.
50.0000	1.0000	BK7		1.516330	64.2510	3-th surf.
50.0000	0.0000					4-th surf.
50.0000	1.0000	BK7		1.516330	64.2510	5-th surf.
50.0000	1.5000					6-th surf.
-25.0000	1.5000	F2		1.620040	36.2813	7-th surf.
25.0000	1.5000					8-th surf.
0.0000	1.5000					9-th surf.
25.0000	1.0000	BK7		1.516330	64.2510	10-th surf.
-15.3923	0.0000					11-th surf.



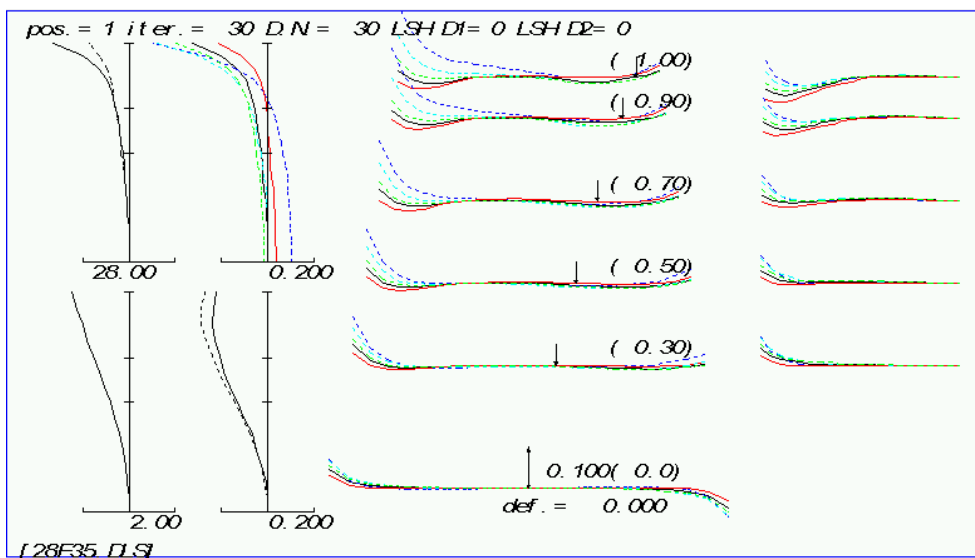
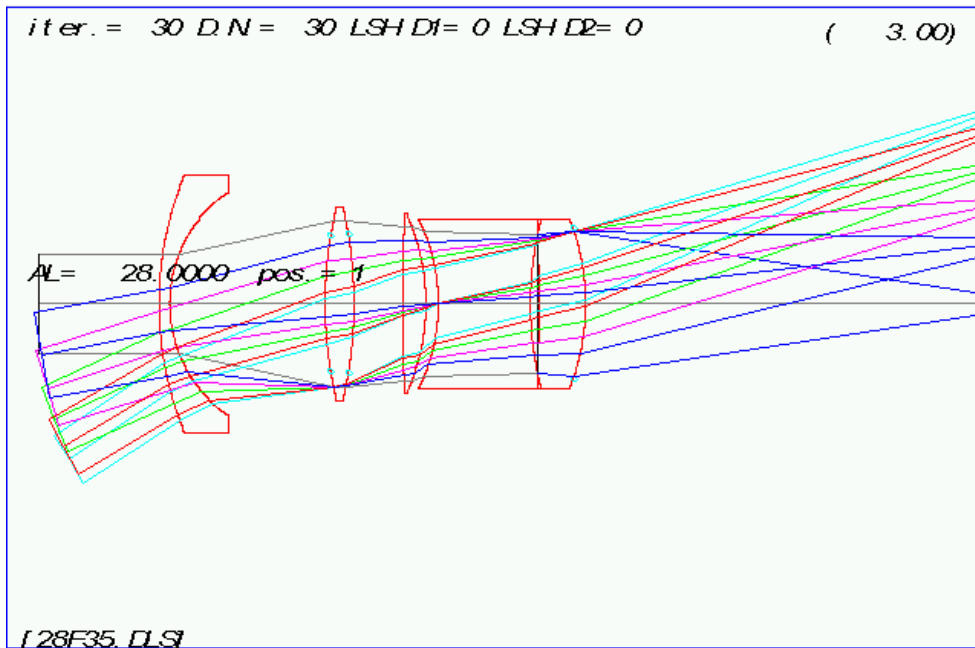
に対し、収差 control として

```

* aberration control at 1-th zoom position
C (PARA/F Z1 C1 ) TARGET= 28.0000 WEIGHT=10.0 ; 28.0000 (1DEFL
(PARA/FB Z1 C1 ) T=38.5 W=100. ; 40.0949 (1DFB
0.0 < (K32/LWID Z1 ) < 35.0000 ; 20.0000 (1LWID
0.6374 < (K32/LVAL Z1 ) < 10.0 ; 0.7484 (1LVAL
c -2.5000 < (TR/DIST Z1 F1 C1 ) < 1.5 ; -9.6520 (1DIS1
-1.5000 < (TR/DIST Z1 F2 C1 ) < 1.0 ; -5.0327 (1DIS2

```

を用いれば



が得られるが、 F_b の control が weight control になっている点に注意せよ。

§ 5-11-7 DAD 用 lens の設計 [DAD.DLS]

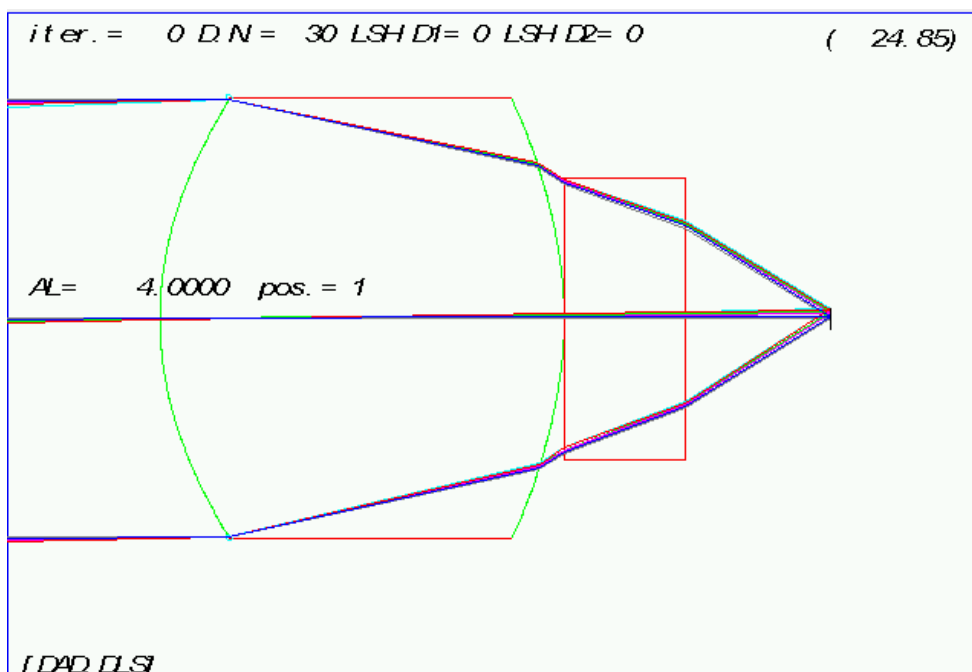
$f = 4.0$, $f_{No} = 1.0$ 、像高 0.1 (従って $\tan \theta = 0.025$) のレンズを PMMA を用いて設計してみよう。 $R_1 = 3.0$ とし第 2 面は bending によって f を確保するとし、cover glass を $n = 1.57$ 、厚み 1.2mm とするならば、その data は

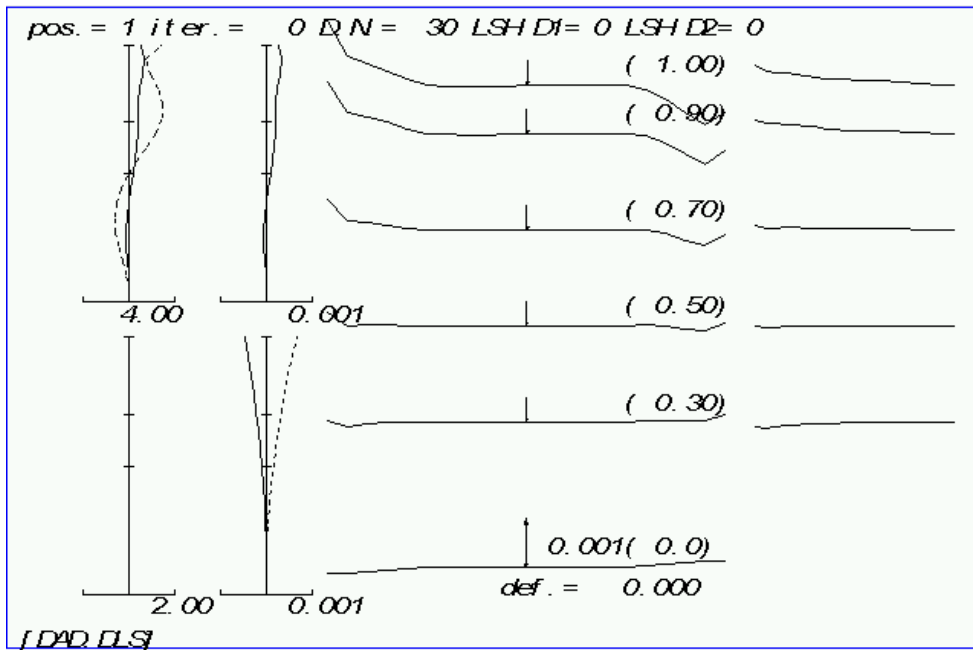
```

c name of this file= RDNET.CHG
c
c R      D      glass-name      Nd      V
█ 3.0000  4.0000 PMMA      1.491940  55.9796 ; 1-th surf.
-3.2046  0.0000 ; 2-th surf.
0.0000  1.2000 ; 3-th surf.
0.0000  0.0000 ; 4-th surf.
c
c each surface KONIC-value 1-> not variable, 2->variable
2200.
c
c CONIC = conic coefficient
c Rz = Z-direction radius of curvature for cylindrical or ellipsoid
c Rx = X-direction of above for ellipsoid
c CONIC      Rz      Rx
1.0000 ; 1-th surface
1.0000 ; 2-th surface
c
c 1-th aspherical surface data
01111
0.00000000D+00 2-th power
0.00000000D+00 4-th power
0.00000000D+00 6-th power
0.00000000D+00 8-th power
0.00000000D+00 10-th power
c 2-th aspherical surface data
01111
0.00000000D+00 2-th power
0.00000000D+00 4-th power
0.00000000D+00 6-th power
0.00000000D+00 8-th power
0.00000000D+00 10-th power

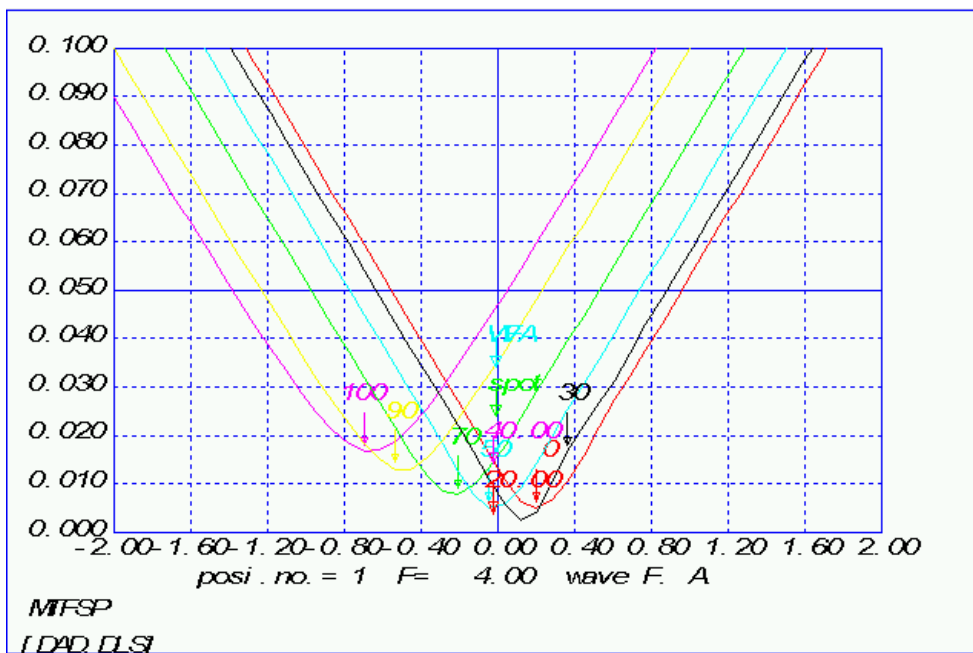
```

と与えられる。これを用いて一括収差を用いる以外は収差については何も指定しないで最適化を行えば





が得られ、`OTF3D`によって波面収差と defocus の関係を調べれば

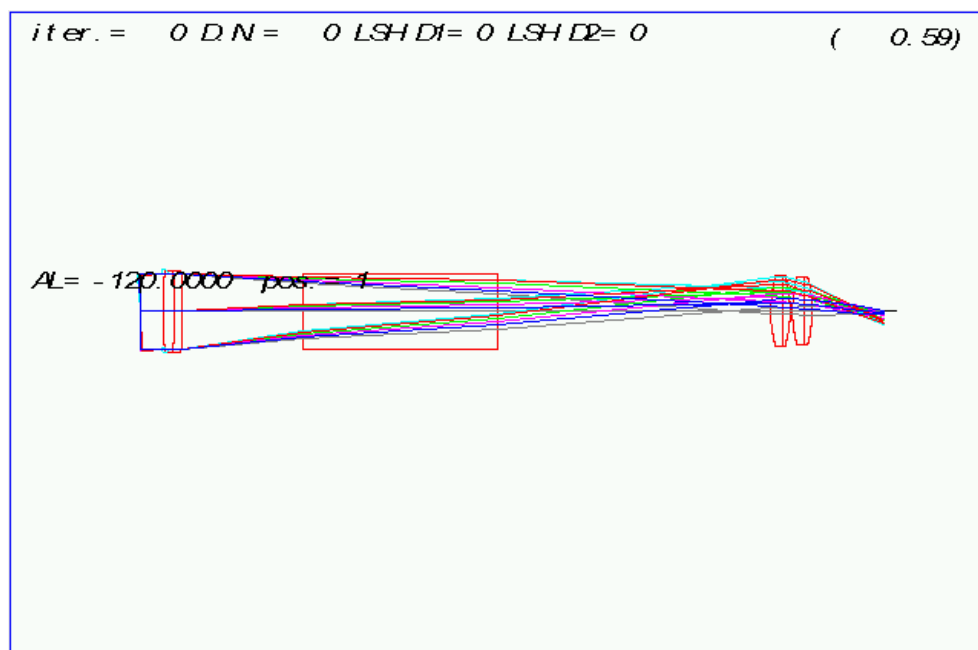


となり、DAD の仕様を満足している様子が判る。断面図の描画に於いてここでは HHPS=0.001 を用いているが第 2 面が、optical clearance を越えると急激に変化する場合は `LENS_CRD_TAB2` に於ける HHPS=0.0 にして描画すれば良い。

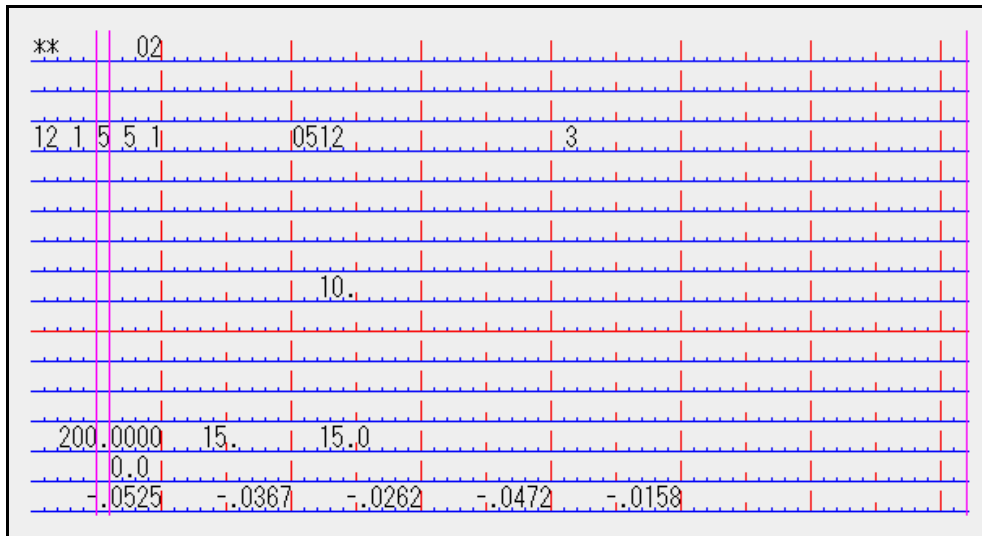
§5-11-8 双眼鏡の設計 : [8X30.DLS]

8×30の双眼鏡の初期 data を作るには、対物として、BK7-F2 の貼合せで $R_1=-R_2=150.0$, $R_3=-272.0$, $d_1=5$, $d_2=3$ とする。この R_3 は $f=200$ となるように Bending されたものである。接眼は $200 \div 8=25$ が焦点距離になるため同じく BK7-F2, $R_1=50$, $R_2=0$, $R_3=-50$ で作った貼合せを2個用い、対物の後に prism に対応した BK7, $d_3=80$ の後方に配置する。その lens data が

c	R	D	glass-name	Nd	V	
150.0000	5.0000	BK7	1.516330	64.2510	:	1-th surf.
-150.0000	3.0000	F2	1.620040	36.2813	:	2-th surf.
-272.0834	50.0000				:	3-th surf.
0.0000	80.0000	BK7	1.516330	64.2510	:	4-th surf.
0.0000	112.8714				:	5-th surf.
50.0000	5.0000	BK7	1.516330	64.2510	:	6-th surf.
0.0000	3.0000	F2	1.620040	36.2813	:	7-th surf.
-50.0000	1.0000				:	8-th surf.
50.0000	5.0000	BK7	1.516330	64.2510	:	9-th surf.
0.0000	3.0000	F2	1.620040	36.2813	:	10-th surf.
-56.3610	20.0000				:	11-th surf.
0.0000	0.0000				:	12-th surf.



である。これ以外に 8×50 afocal を保証するために KAFCL=2, INF1=5, INF2=12, NZMEQ(1)=3, FB=15.0 が入れられ、LENS. CRD の初めの部分は



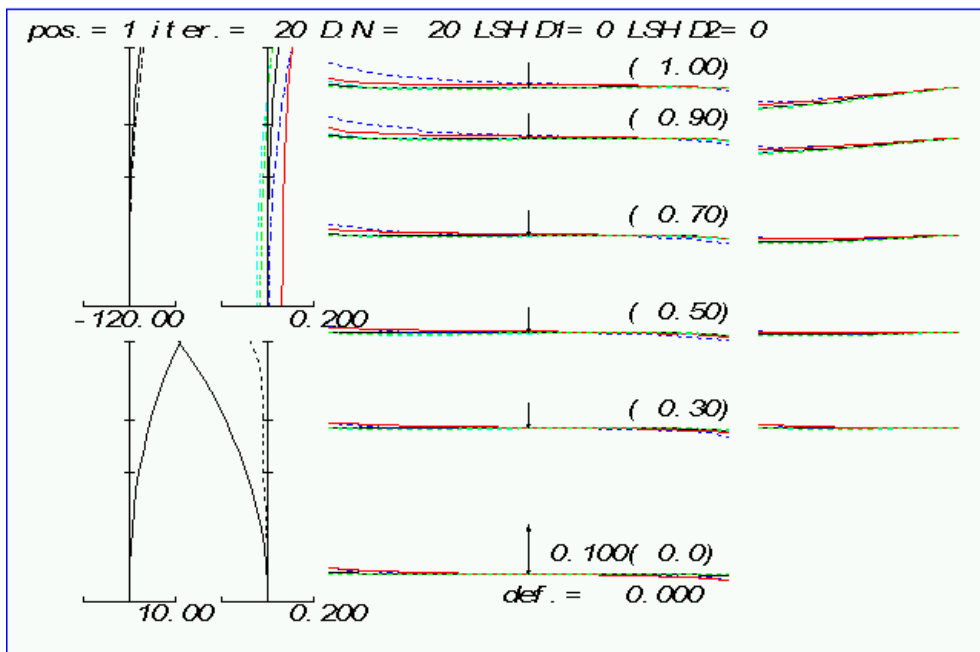
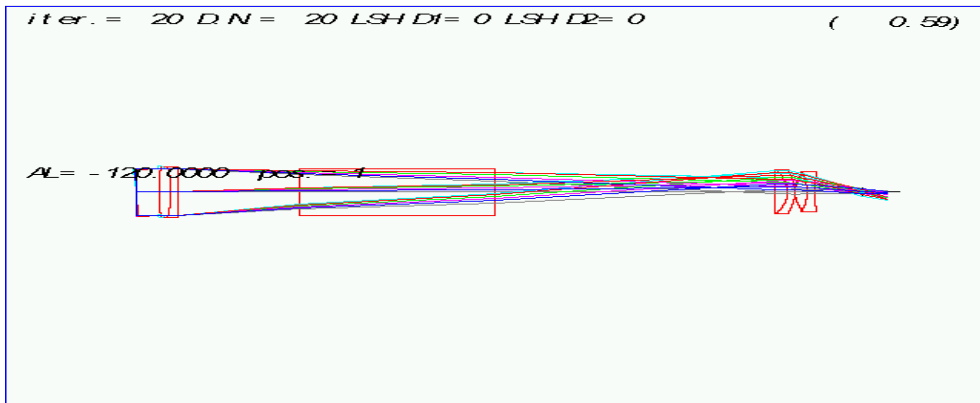
これを用いて **ROUT** を行えば eye-relief が 32 収差として出力されるが、これを control 収差に採用し、DLS-control 部を

```

c KEND KTABEX          KHADJY KPTPCH          KBDEDT  KHDABR
30 0.                010                01      01
c IR: give 1 to i-th column when R(i) is variable
11 11111
c ID: give 1 to i-th column when D(i) is variable
1
c IN: give 1 to i-th column when i-th lens index is variable
11 1111
c ZKMEN  ZDLOW  ZDH  ZIRIS  CORLMT  SAZR
c ZKLA  ZKBI  ZLMT  RHU  SINLMT  BWGSIN
c BWGD  BWGRH  BWGZVL  BWGGLS  SIGCF
c PWGR  PWGD  PWGN  PWGV  PWGGKI  PWGGKT  PWGFB  PWGBND
c GOSAR  GOSAD  GOSAN  GOSAV  GOSASH  GOSATL  GOSACM  GSCPL
c ZKB  SDAMP  DCOF10  DCOF3  DRINC  DDINC  DNINC  GOSAR2
c next line is not used now
c
c from here aberration line
c Fb difference controll
c
* aberration controll at 1-th zoom position
c
(K32, AB/EYE1), T=20.0, W=1.0, ; 18.8519; (1EYE1)
(TR/DIST Z1, F1, C1), T=10.0, W=1.0, ; 17.8507; (1DIST)
c
c ((SPL/SPTBST Z1 /MR F2)-(SPL/SPTBST Z1 /SG F2)) T=0.0 W=1.0 ; -0.5083 (1S2wM-1S2wS)
! blank line to detach aberration
! blank line to detach aberration

```

として最適化を行えば



が得られる。

§5-11-9 zoom lensの最適化

§3-3 で作った zoom lens は F/4.3 であるが、これを F/3.5 に明るくして最適化を行ってみることにする。まず生の data ([KIN0721.CRD] として test data 中にある) を LENS.CRD に copy し、 → によって DLS control data を附加する。次に → と進み、固定群を control するために の edit box に 0514 と入力する。次に で各 position の SAU を 10.28, 18.57, 29.0 にする。

次に main menu に戻り を選べば の効果によって DS-1 の名前で、第 5 面から第 14 面までの間隔が各 position で計算されていることが判る。さらに → と進み

$$((K32/DS-1 Z2)-(K32/DS-1 Z1))=0.0$$

$$((K32/DS-1 Z3)-(K32/DS-1 Z1))=0.0$$

を加え、position による Fb の差を零にし、次に、lens width(LWID)の上限を 160→180 に緩める。さらに各 position の F, Fb(第 1 position のみ)、光量、Distortion、非点隔差を control し、第 3 position のみは 7 割の非点収差を目標値-0.1 weight 10.0 で control する。その結果作られた LENS. CRD が<資料:5-11-9-A>であり [KIN0721_F35_EQ4_DS514.DLS] として登録されている。<資料:5-11-9-B>と<資料:5-11-9-C>が最適化の前後であるが明るくなった上に十分収差が改善されているのが判る。勿論硝材は架空のもので、レンズ長は 20mm 長くなっている。

次に固定群の control を によらず同じ頁の の edit box に 0514 と入れて control することも可能である。この時 の KCPCCH を on にしなければ可変にはならない。こうすれば<資料:5-11-9-A>の 180、181 行目は除去出来る。

さらに の INF41=10, INF42=13 とすれば、この二つの間隔を調節することにより各 position の Fb を一致させてくれるので、<資料:5-11-9-A>の 184, 185 行が不要となる。但し、前と同様 KFBCH を on にして居く必要がある。以上の 2 つの追加をしたものが [KIN0721_F35_EQ4_INF41_2_CPL514.DLS] である。

さらに NZMEQ=1 を用いれば、各 position の焦点距離の control である<資料:5-11-9-A>の 197, 205, 210 行も不要となる。この方式を取ったものが [KIN0721_F35_EQ1.DLS] であり、KALTCH=1 として実行すれば、ほぼ同じ結果を得る。

にある を選べば NZMEQ=4 の状態から NZMEQ=2、即ち zoom 系のすべての近軸関係を保存しながら最適化を行うが、各群の power が変化しない限り F/4.3→F/3.5 への改良は不可能である。この時の test data は [KIN0721_EQ2_F43.DLS] , [KIN0721_EQ2_F35.NO_GOOD.DLS] として登録されているので各人で確かめられたい。

<資料:5-11-9-A>

```

1: **
2: [KIN0721_F35_EQ4_DS514.DLS]
3:
4: 2722050303 51013          4 4 4          01
5: 04
6: 0514

14:    72.0000   10.2814
15:     0.0

```

```

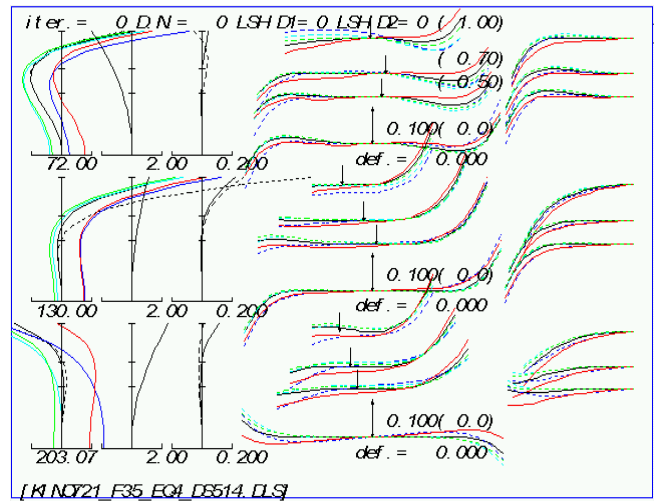
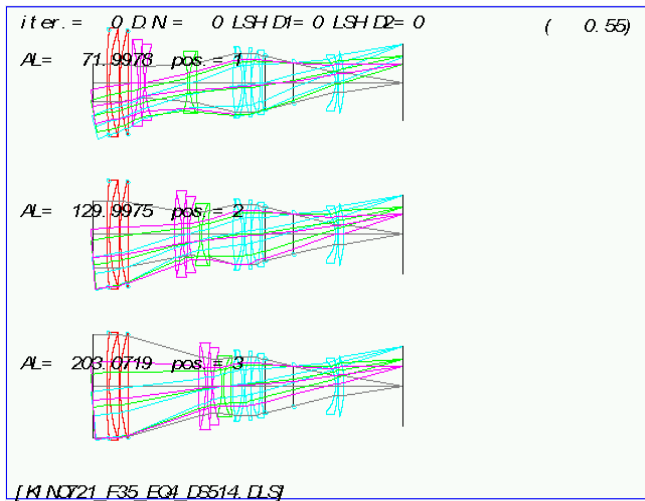
16:   -0.3005   -0.2103   -0.1502
17:  1 523

42:  1
43:  268.5400
44:   1.9000
45:  SF1

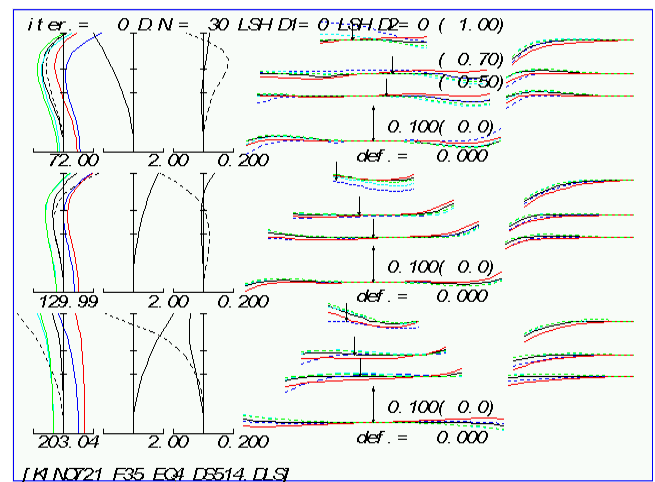
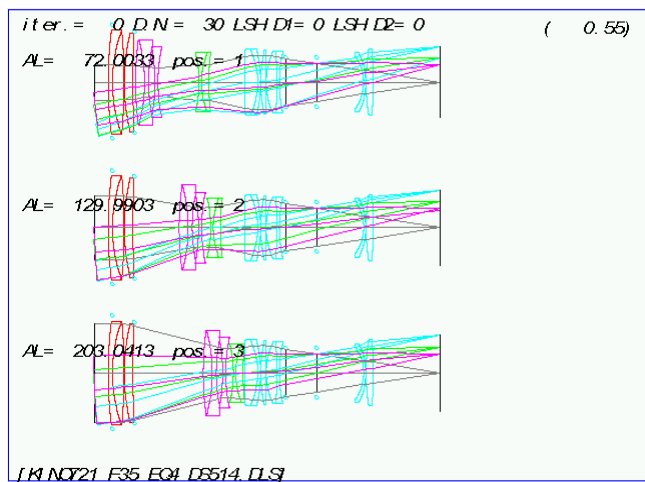
150: * from here DLS contoll data [DCT-1~11],aberration, boundary, etc
151: * KBDEDT (63') : flag to enable to use screen editor to change
152: *      parameter weight, boundary condition and parameter boundary of TLDLS
153: c KEND KTABEX      KHADJY KPTPCH      KBDEDT      KHDABR
154: 30 0      1      0 1      01      01
155: c IR: give 1 to i-th column when R(i) is variable
156: 11111111111111111111 1111
157: c ID: give 1 to i-th column when D(i) is variable
158: 111111111111111111111111111111
159: c 2-pos.      3-pos.
160: 111      111
161: c IN: give 1 to i-th column when i-th lens index is variable
162: 1111111111111111
175: c next line is not used now
176:
177: c
178: c from here aberration line
179: c sigma(Di(I=5,13)) controll
180: ((K32/DS-1 Z2)-(K32/DS-1 Z1))=0.0
181: ((K32/DS-1 Z3)-(K32/DS-1 Z1))=0.0
182:
183: c Fb difference controll
184: ((PARA/FB Z2 C1)-(PARA/FB Z1 C1))=0.
185: ((PARA/FB Z3 C1)-(PARA/FB Z1 C1))=0.0
186:
187: 1.0 < (K32/D-5 Z2 ) < 1000. ; 31.4850 (2D-5
188: 1.0 < (K32/D-10 Z2 ) < 1000. ; 7.2957 (2D-10
189: 1.0 < (K32/D-13 Z2 ) < 1000. ; 16.2733 (2D-13
190:
191: 1.0 < (K32/D-5 Z3 ) < 1000. ; 47.5653 (3D-5
192: 1.0 < (K32/D-10 Z3 ) < 1000. ; 5.9926 (3D-10
193: 1.0 < (K32/D-13 Z3 ) < 1000. ; 1.4961 (3D-13
194:
195: c
196: * aberration controll at 1-th zoom position
197: (PARA/F Z1 C1 ) TARGET= 72.0000 WEIGHT=10.0 ; 71.9978 (1DEFL
198: 38.5000 < (PARA/FB Z1 C1 ) < 1000. ; 39.9996 (1DFB
199: 0.0 < (K32/LWID Z1 ) < 180.0 ; 159.9170 (1LWID
200: 0.2972 < (K32/LVAL Z1 ) < 10.0 ; 0.6522 (1LVAL
201: -2.7000 < (TR/DIST Z1 F1 C1 ) < 1.5 ; -2.7119 (1DIS1
202: ((SPL/SPTBST Z1 /MR F2)-(SPL/SPTBST Z1 /SG F2)) T=0.0 W=1.0 ; -0.0594
203: c
204: * aberration controll at 2-th zoom position
205: (PARA/F Z2 C1 ) TARGET= 130.0000 WEIGHT=10.0 ; 129.9975 (2DEFL
206: 0.2640 < (K32/LVAL Z2 ) < 10.0 ; 0.3998 (2LVAL
207: ((SPL/SPTBST Z2 /MR F2)-(SPL/SPTBST Z2 /SG F2)) T=0.0 W=1.0 ; 0.0131
208: c
209: * aberration controll at 3-th zoom position
210: (PARA/F Z3 C1 ) TARGET= 203.0700 WEIGHT=10.0 ; 203.0719 (3DEFL
211: 0.2557 < (K32/LVAL Z3 ) < 10.0 ; 0.3899 (3LVAL
212: (TRANS/TAS Z3 C1 F2) t=-0.1 W=10. ; -0.0254 (3DMR2
213: -2.5000 < (TR/DIST Z3 F1 C1 ) < 2.7 ; 2.4220 (3DIS1
214: ((SPL/SPTBST Z3 /MR F2)-(SPL/SPTBST Z3 /SG F2)) T=0.0 W=1.0 ; 0.3011
215: ! blank line to detach aberration
216: ! blank line to detach aberration

```

<資料:5-11-9-B>



<資料:5-11-9-C>



§ 5-11-10 携帯用レンズの設計例

§ 5-11-10-1 単レンズ[f=2.0_F=2.8_W=34.0.DLS]

単レンズ、両面非球面で $f=2.0$, $F/2.8$, $y'm=1.35$ のレンズを設計してみる。材質は PMMA とし、 $R_1=2.0$ で R_2 はベンディングで落とせば、初期 data は

```

c      name of this file= RDNEDT.CHG
c
c      R      D      glass-name      Nd      V      maker
-2.0000000  2.0000 PMMA      1.491940  55.9659      : 1-th surf.
-1.2980032  0.0000      : 2-th surf.
      0.5000 BK7      1.516330  84.0608      : 3-th surf.
      0.0000      : 4-th surf.
c
c      each surface KONIC-value 1-> not variable, 2->variable
Z200
c
c      CONIC = conic coefficient
c      Rz   = Z-direction radius of curvature for cylindrical or ellipsoid
c      Rx   = X-direction of above for ellipsoid
c      CONIC      Rz      Rx
      1.0000      : 1-th surface
      1.0000      : 2-th surface
c
c      1-th aspherical surface data
01111
0.00000000D+00      2-th power
0.00000000D+00      4-th power
0.00000000D+00      6-th power
0.00000000D+00      8-th power
0.00000000D+00      10-th power
c      2-th aspherical surface data
01111
0.00000000D+00      2-th power
0.00000000D+00      4-th power
0.00000000D+00      6-th power
0.00000000D+00      8-th power
0.00000000D+00      10-th power

```

となるが、これに対し、

```

*
*      distortion controll
*      -2.5000 < (TR/DIST Z1, F1) < 1.5
*      ((TR/DIST Z1, F2)/(TR/DIST Z1, F1)) T=0.5
*      ((TR/DIST Z1, F3)/(TR/DIST Z1, F1)) T=0.25
*
*      sag. mer. best defocus difference value controll
*      ((SPL/SPTBST Z1, /MR F2)-(SPL/SPTBST Z1, /SG F2)) T=0.0 W=1.0
*
*      blank line to detach aberration
*      blank line to detach aberration
*      blank line to detach boundary
*      blank line to detach parameter weight
*      blank line to detach parameter boundary

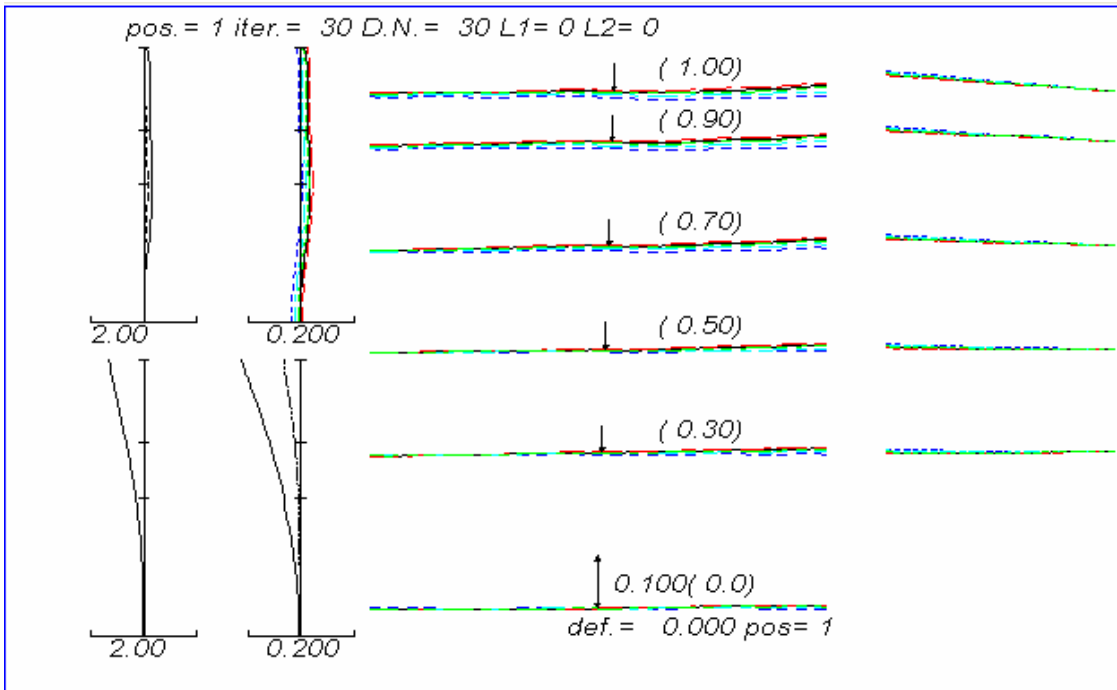
```

の如く、歪曲収差とスポットの非点隔差を収差 control すれば、結果として、

```

c      name of this file= RDNEDT.CHG
c
c      R      D      glass-name      Nd      V      maker
-1.6673826  2.0000 PMMA      1.491940  55.9659      : 1-th surf.
-1.4508671  0.0000      : 2-th surf.
      0.5000 BK7      1.516330  84.0608      : 3-th surf.
      0.0000      : 4-th surf.
c
c      each surface KONIC-value 1-> not variable, 2->variable
Z200
c
c      CONIC = conic coefficient
c      Rz   = Z-direction radius of curvature for cylindrical or ellipsoid
c      Rx   = X-direction of above for ellipsoid
c      CONIC      Rz      Rx
      -8.0786      : 1-th surface
      0.1869      : 2-th surface
c
c      1-th aspherical surface data
01111
0.00000000D+00      2-th power
-1.4523722D+00      4-th power
0.50195152D+01      6-th power
-3.4247646D+02      8-th power
0.82408137D+02      10-th power
c      2-th aspherical surface data
01111
0.00000000D+00      2-th power
0.78443351D-01      4-th power
0.28427128D-01      6-th power
0.10731114D-01      8-th power
-2.5382783D-03      10-th power

```



が得られる。この data の OTF を計算すれば $100\lambda/\text{mm}$ を解像するのは $W=20^\circ$ ($y'=0.7\text{mm}$) 程度であることが判る。但し、ここでは光束の射出角は考えてないのでこの点は別途考慮する必要がある。

§5-11-10-2 Topogon 型 2 枚レンズ

前節と同じ仕様をメニスカス 2 枚で行うとする。
 スタートデータとして (TOPOGON_TYPE_F=2.0_W=34deg_PMMA_DLS_START)

```

c
c R D glass-name Nd V maker
c 1.0000000 0.5000 PMMA 1.491940 55.9659 : 1-th surf
c 2.0000000 0.2500 : 2-th surf
c 2.0000000 0.2500 : 3-th surf
c 0.0000000 0.5000 PMMA 1.491940 55.9659 : 4-th surf
c 0.8371498 0.0000 : 5-th surf
c 0.5000 BK7 1.516330 64.0808 : 6-th surf
c 0.0000 : 7-th surf
c
c each surface KONIC-value 1-> not variable, 2->variable
c Z202200
c
c CONIC = conic coefficient
c Rz = Z-direction rdius of curvature for cylindrical or ellipsoid
c Rx = X-direction of above for ellipsoid
c CONIC Rz Rx : 1-th surface
c 1.0000 : 2-th surface
c 1.0000 : 4-th surface
c 1.0000 : 5-th surface
c
c 1-th aspherical surface data
c 01111
c 0.00000000+00 : 2-th power
c 0.00000000+00 : 4-th power
c 0.00000000+00 : 6-th power
c 0.00000000+00 : 8-th power
c 0.00000000+00 : 10-th power
c 2-th aspherical surface data
c 01111
c 0.00000000+00 : 2-th power
c 0.00000000+00 : 4-th power
c 0.00000000+00 : 6-th power
c 0.00000000+00 : 8-th power
c 0.00000000+00 : 10-th power
c 4-th aspherical surface data
c 01111
c 0.00000000+00 : 2-th power

```

を用いるとする。材質はPMMAで第4面はベンディングで落としてある。これに対し、収差コントロールとして前節と同様に、

```

*
* distortion controll
* -2.5000 < (TR/DIST Z1 F1) < 1.5 : 0.4480 ( 1DIS1
* ((TR/DIST Z1 F2)/(TR/DIST Z1 F1)) T=0.5 : 0.0558 ( 1DIS2/
* ((TR/DIST Z1 F3)/(TR/DIST Z1 F1)) T=0.25 : -0.0818 ( 1DIS3/
*
* sag. mer. best defocus difference value controll
* ((SPL/SPTBST Z1 /WR F2)-(SPL/SPTBST Z1 /SG F2)) T=0.0 W=1.0 : 0.1454
*
* blank line to detach aberration
* blank line to detach aberration
* blank line to detach boundary
* blank line to detach parameter weight
* blank line to detach parameter boundary

```

を用い、さらに一括収差でsagittal 7割のweightを

```

*
* sagittal representative weight for each object
* axis (1) (2) (3) (4) (5)
* 1.0000 0.1000 2.0000 0.8750 0.3000 0.9000
*
* meridional of above
* 1.0000 0.1000 0.5000 0.8750 0.3000 0.9000
* representative weight for each spectrum
* (d) (e) (f) (g) (h)
* 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000 1.0000
*
* ----- from here please specify position at 9,10-column -----

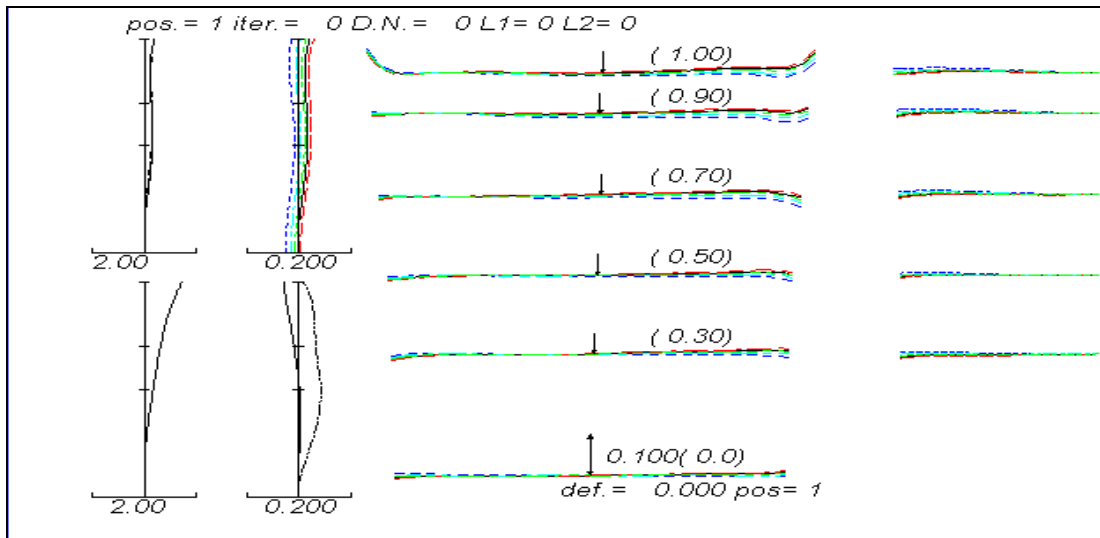
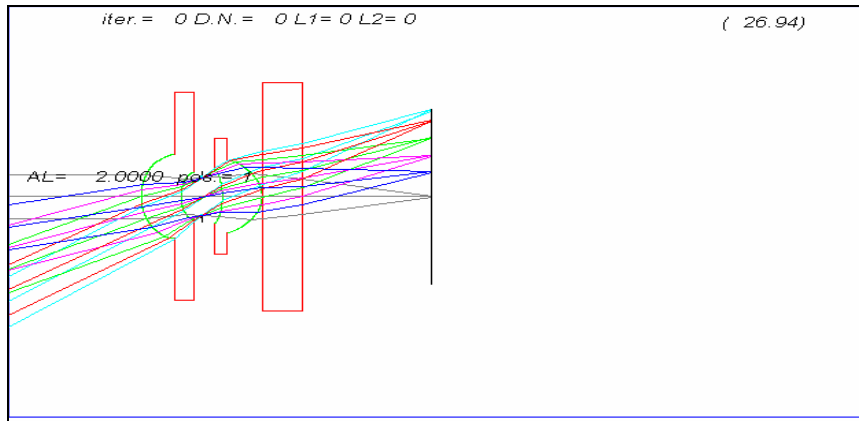
```

によって変更すれば、

```

c name of this file= RDNEDT.CHG
c
c
c R D glass-name Nd V maker
c 1.1377710 0.5000 PMMA 1.491940 55.9658 : 1-th surf.
c 0.3031070 0.2500 : 2-th surf.
c 0.2500 0.2500 : 3-th surf.
c -1.7897220 0.5000 PMMA 1.491940 55.9658 : 4-th surf.
c 0.8114528 0.0000 : 5-th surf.
c 0.5000 BK7 1.516330 64.0808 : 6-th surf.
c 0.0000 : 7-th surf.
c
c each surface KONIC-value 1-> not variable, 2->variable
2202200
c
c CONIC = conic coefficient
c Rz = Z-direction radius of curvature for cylindrical or ellipsoid
c Rx = X-direction of above for ellipsoid
c CONIC Rz Rx
c 2.8598 : 1-th surface
c 4.8400 : 2-th surface
c 12.3367 : 4-th surface
c 0.8810 : 5-th surface
c
c 1-th aspherical surface data
01111
c 0.00000000+00 : 2-th power
c 8.53773930-01 : 4-th power
c 3.04346800-01 : 6-th power
c 1.14413350-01 : 8-th power
c 0.196850130-01 : 10-th power
c
c 2-th aspherical surface data
01111
c 0.00000000+00 : 2-th power
c 4.437100330+00 : 4-th power
c -28.875340+01 : 6-th power
c 0.187213040+02 : 8-th power
c -58.388830+00 : 10-th power
c
c 4-th aspherical surface data
01111
c 0.00000000+00 : 2-th power

```

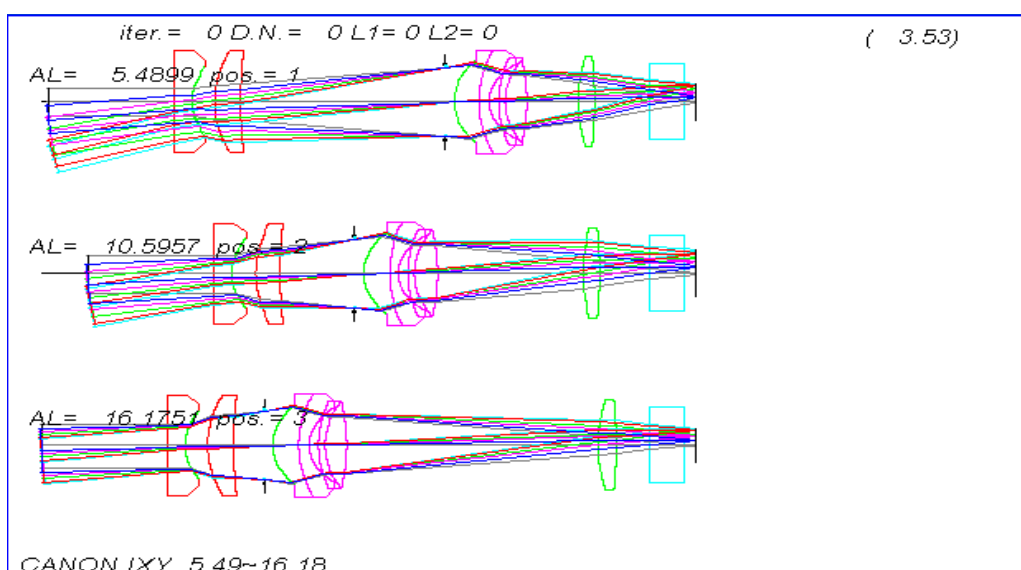


が得られるが、このデータは前節よりも大幅に良くなっている。

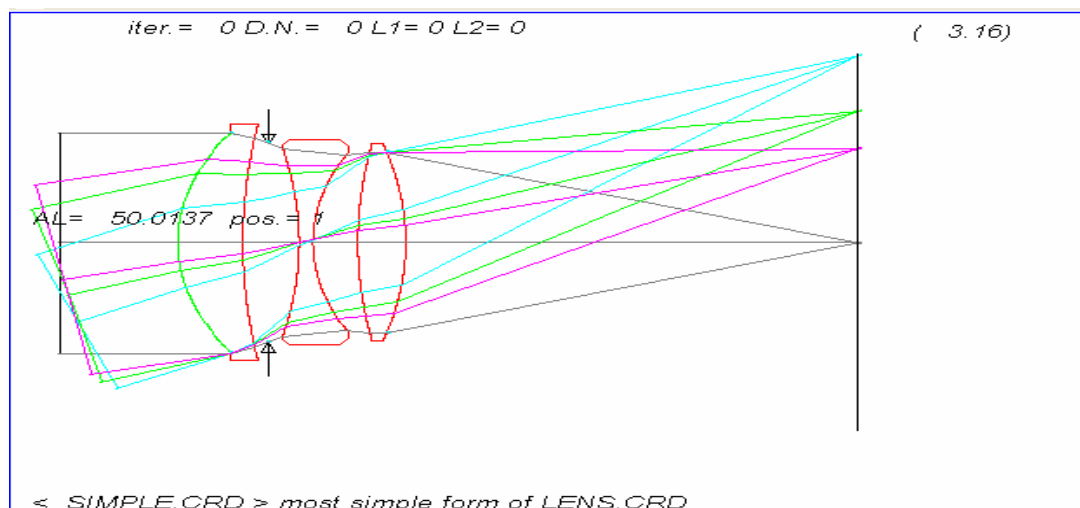
§5-11-10-3 携帯用3倍ズーム

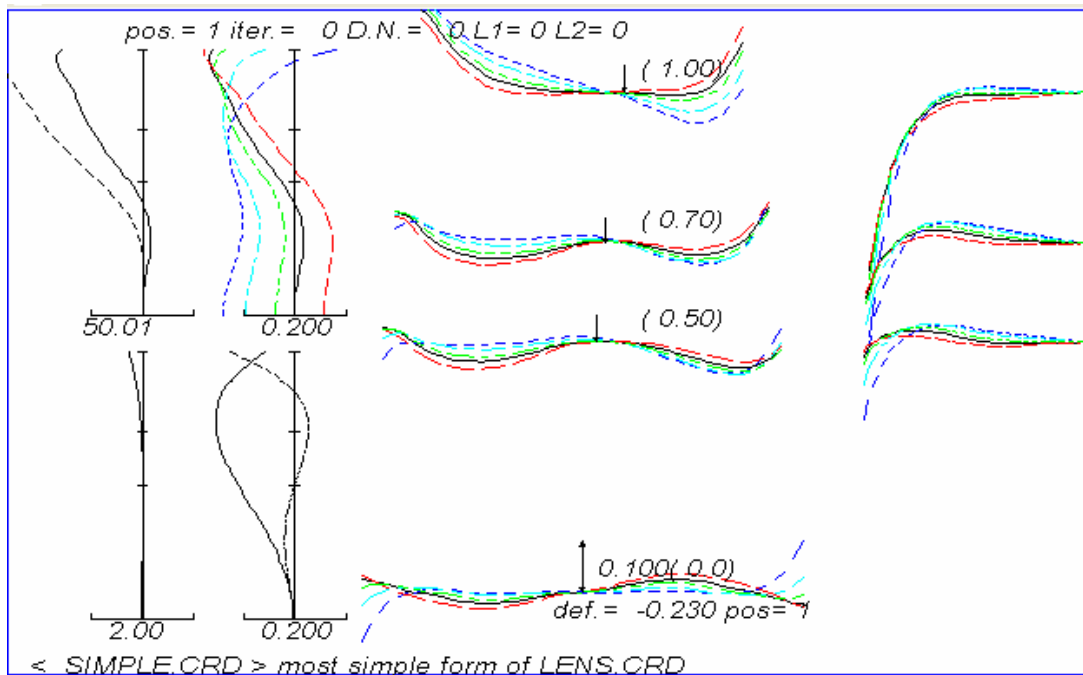
$f=2.0\sim 6.0$, $F_{N0}=2.8\sim 4.5$, $y'm=1.35$ のズームレンズの設計をする。この節は単に設計例のみならず、いくつかの option の説明も兼ねることとする。

まず、2つのレンズを用意し、その一部分を組合わせてスタートデータを作るとする。1つは Canon IXY 3倍ズーム (5~16, P2001-296475 ; TEST_DATA ¥携帯 ¥2_4 ZOOM にある)



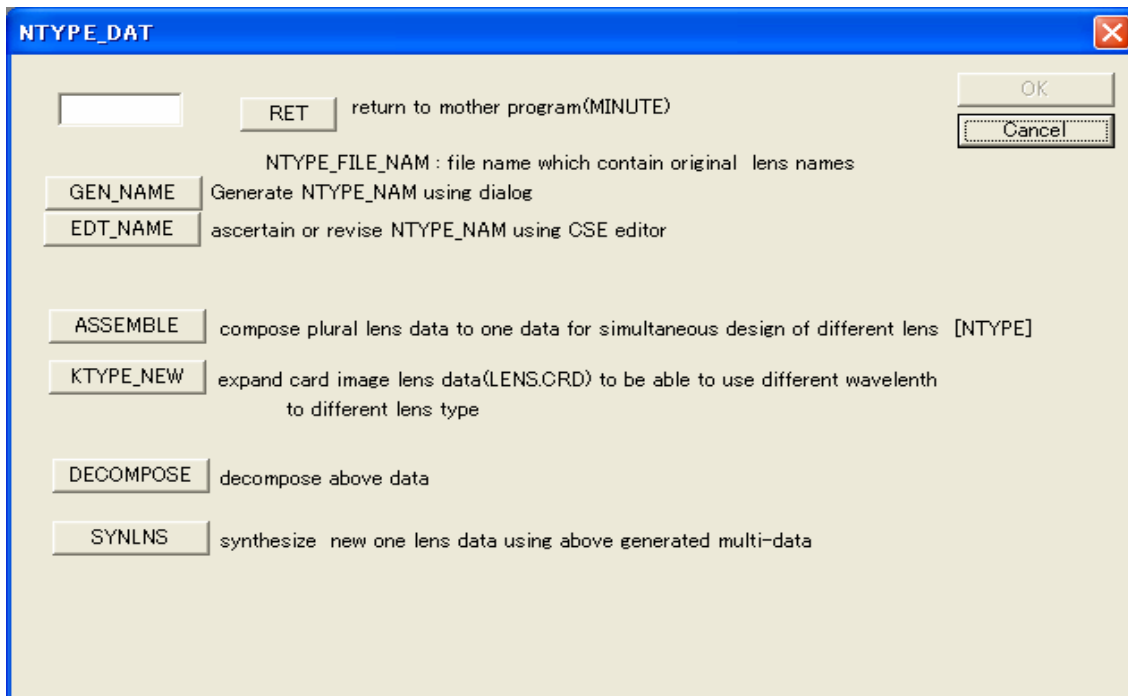
であり、この g_1 , g_2 を新レンズの第1群に使用する。次に TEST_DATA 中の SIMPLE.CRD を改造し、画角はそのままで第1面を非球面とし、F/2.0 の明るさにする。この断面図と収差図が





であるが、収差が乱れているが小さい焦点距離で使うのでこの程度で構わない。

次にこの2つのレンズを異種レンズの同時取扱いとして **MINUTE-Tab6** で NTYPE を行えば



が与えられるので **GEN_NAME** によって、すでに準備された2つのデータを指示する。このfile名の修正、確認のoptionが **EDT_NAME** であり、

```
C:\kusakawa\TEST_DATA\携帯¥2_6_ZOOM¥P2001-296475_EX-1
C:\kusakawa\TEST_DATA\携帯¥2_6_ZOOM¥TRIPILET_F2.0_aspherical
```

となっている。この後で **ASSEMBLE** を選べば、2つのレンズが結合され、第1～3 zoom position が IXY の data で第4 zoom position が Triplet の data となっている。

KTYPE_NEW は各 type のレンズ毎に color weight、波長、スペクトル名を異ならせる必要がある場合に用いる option であり、**DECOMPOSE** は合成された data が DLS で変更された場合に、元の data に copy する option である。

次に **SYNLNS** を選び、

```
c New data constitution
c ITYPE : type number, if zero detach input
c IS : adopted start surface number
c IE : last surface
c ITYPE IS IE
c 1 1 4
c 2 1 7
```

によって、IXY の 1～4 面とその後にトリプレットを附加することが出来る。以上によりい
わばレンズタイプが決定されたので、これを 2～6 mm の zoom lens に以下の如く作り上げ
ることになる。

- (I) **MINUTE-Tab1** の **ADDNZP** を選び、第 1-position の後に 2-zoom position を附加し、total で 3-zoom position とする。
- (II) **ZOOM_CNT-Tab2** の IPTP(1) に 4 を入れる。これは勿論 D_4 が可変間隔になっていることに対応している。

さらに第 4-Tab の F を KPOS=1, 2, 3 に応じて、2.0, 3.5, 6.0 を入れ (SAU はそのままが良い)、第 5-Tab の D(4) の所にも KPOS=1, 2, 3 に応じて 5.0, 3.0, 1.0 を入れる。

- (III) **REOBJH** を選び、像高 1.35 に対応して

```
c name of this file= REOBJH.CHG
c relative object height
c IHI=i means i-th off axis object same as Fi
*
c IHI=1 IHI=2 IHI=3 IHI=4 IHI=5
c 1.0 0.7 0.5 0.9 0.3
c
c each position maximum object height
c -0.675 1-th posi.
c -0.3357 2-th posi.
c 0.225 3-th posi.
```

と入力する。

以上により、残る問題は各群の焦点距離の決定問題となる。

- (IV) **LCARD-Tab2** の **GNPZCR** を選べば現在のデータの各群の (κ, κ', τ) を近軸 zoom 設計 option **PZOOM** 用の card image data の中に書込む。
- (V) **RET** によって最初の menu に戻り、**PZOOM** → **Tab-3** → **I** → **M** と進めば、参考文献(3)の(2.3.6)式によって各群の power が決定される。実際の数値としては、ほぼ基準倍率 $\beta_w = -\frac{1}{\sqrt{V}}$ 、 $\beta_T = -\sqrt{V}$ の近辺の値となり、画面上は

```

F(1) and F(2) are decided as follows
(I):decide F(2) by movement of 2-nd group and behta of wide and tele
(II): decide F(1) to generate proper image for 2-nd group at wide state
Please push enter key to proceed

If you push P, PRINT_FIG-option is executed

Decision of F(2)
D1W,D1T: D(1) in wide and tele state
BT2W,BT2T: behta of wide and tele state

D1W      D1T      BT2W      BT2T
5.0000   1.0000   -0.630   -1.8900

```

を入力すれば

```

Decision of F(1)
F(1) is decided by D1W and BT2W used for F(2)

Fw=   1.9844   Ft=   5.9533

OBTAINED F(1)=  -3.1499   F(2)=   3.7800

ARE YOU ALL RIGHT ? (Y/N)

```

となり、(Y)で答えて第1-Tabに戻り、**DPL**を選べば、各 position の値が

```

-----
F( 1)=  -3.150   F( 2)=   3.780   F(
pos.      F      D(1)      D(
( 1)     1.984     5.000
( 2)     2.977     3.000
( 3)     5.953     1.000

pos.     behta(1) behta(2) behta(
( 1)     0.000    -0.630
( 2)     0.000     2.350
( 3)     0.000    -1.890

```

と表示され、ほぼ最初の意図を満足していることが判る。ここで、**SCLDAT**を選べば、現在の power を SCALING. DAT の中に書込み、次の option の準備が出来る。

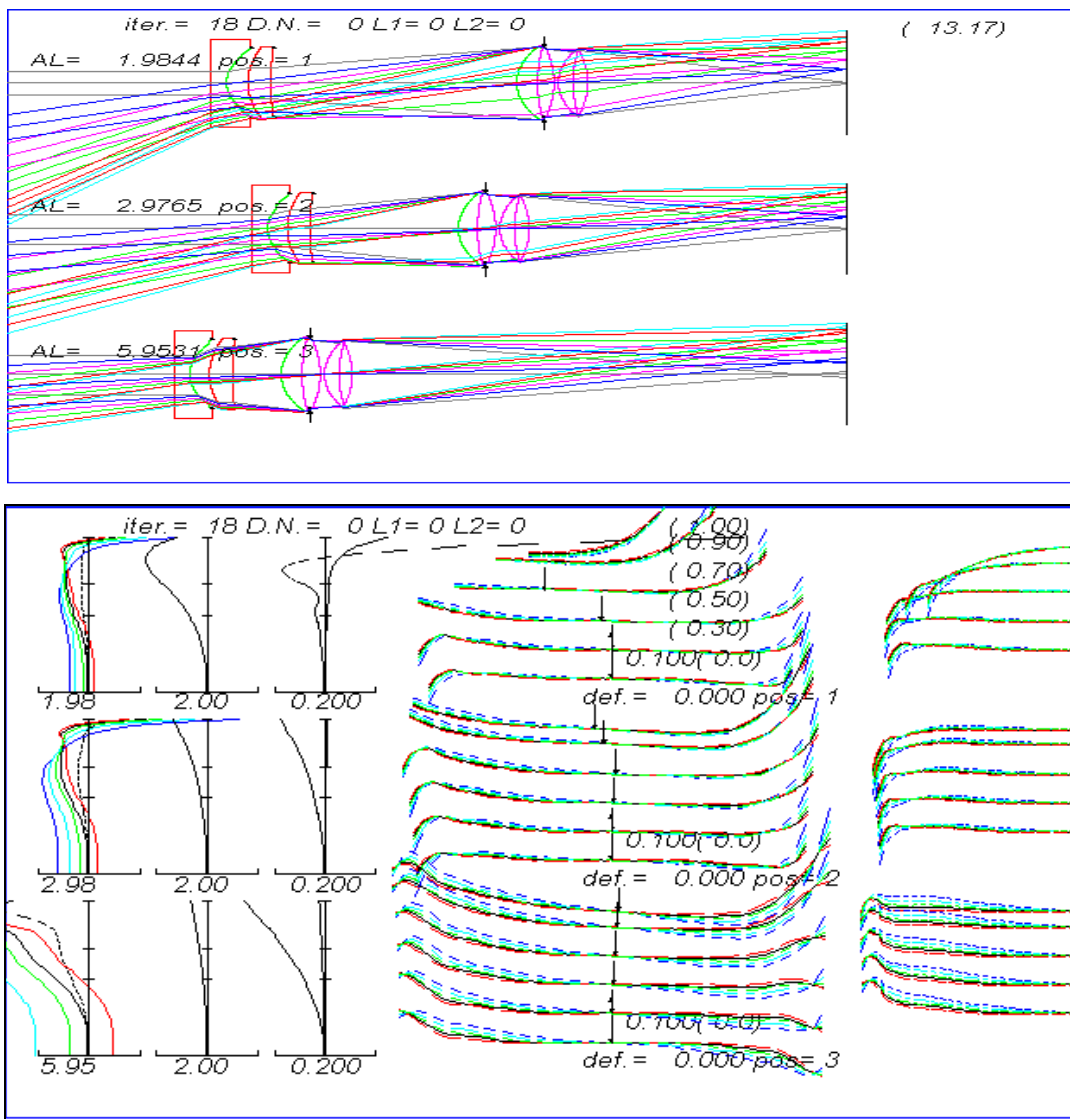
- (VI) **RET** → **LCARD** → **PROCEED** → **Tab-2** → **RCVSCL** → **DPL** と進めば、最初に作った LENS. CRD が scaling されて、screen 上は

Is	Ie	F-old	F-new	coefficient
(1- 4)		-13.9137	-3.1499	0.2264
(5- 11)		50.0137	3.7800	0.0756
kpos		D(1)	D(
1		5.0000		
2		3.0000		
3		1.0000		

となる。これは、第1群は0.2264倍されることにより、 $f=-13.9137 \rightarrow -3.1499$ 、第2群は0.0756倍されて $f=50.0137 \rightarrow 3.7800$ に変更されたことを示している。

- (VII) さらに、MINUTEに戻り、**LENS_CND-Tab1**でIRIS=7、第4-TabのHHPS=0.0とし、**SURF_CNT**を選んで第2、4、7面の**TAKASA**を共に1.0とすればデータは完成する。

この断面図と収差図は



であり、案外乱れてないことが判る。この data に対して、収差制御として

```

c
c from here aberration line
*
* Fb difference controll
c ((PARA/FB Z2 C1)-(PARA/FB Z1 C1))=0.0 : 1.1907 ( 2DFB -
c ((PARA/FB Z3 C1)-(PARA/FB Z1 C1))=0.0 : 4.7627 ( 3DFB -
c
c 1.0 < (K32/D-4 Z2 ) < 1000. : 3.0000 ( 2D-4
c
c 1.0 < (K32/D-4 Z3 ) < 1000. : 1.0000 ( 3D-4
c
c
c
* aberration controll at 1-th zoom position
* focal length controll
c (PARA/F Z1 C1 ) TARGET= 2.0000 WEIGHT=10.0 : 1.9844 ( 1DFL
* back focus controll
c 38.5000 < (PARA/FB Z1 C1 ) < 1000. : 5.2682 ( 1DFB
* light value controll
c 0.0000 < (K32/LVAL Z1 ) < 10.0 : 0.9877 ( 1LVAL
* lens width controll
c 0.0 < (K32/LWID Z1 ) < 7.8355 : 7.8355 ( 1LWID
*
* distortion controll
c -2.5 < (TR/DIST Z1 F1) < 1.5 : -1.1614 ( 1DIS1
c -1.5 < (TR/DIST Z1 F2) < 1.0 : -1.7050 ( 1DIS2
c ((TR/DIST Z1 F2)/(TR/DIST Z1 F1)) T=0.5 W=1.0 : 1.4681 ( 1DIS2/
c -1.0 < (TR/DIST Z1 F3) < 1.0 : -0.7055 ( 1DIS3
c ((TR/DIST Z1 F3)/(TR/DIST Z1 F1)) T=0.25 W=1.0: 0.8075 ( 1DIS3/
*
* sag. mer. best defocus difference value controll
c ((SPL/SPTBST Z1 /MR F2)-(SPL/SPTBST Z1 /SG F2)) T=0.0 W=1.0 : -0.0320
c
* aberration controll at 2-th zoom position
* focal length controll
c (PARA/F Z2 C1 ) TARGET= 3.5000 WEIGHT=10.0 : 2.9765 ( 2DFL

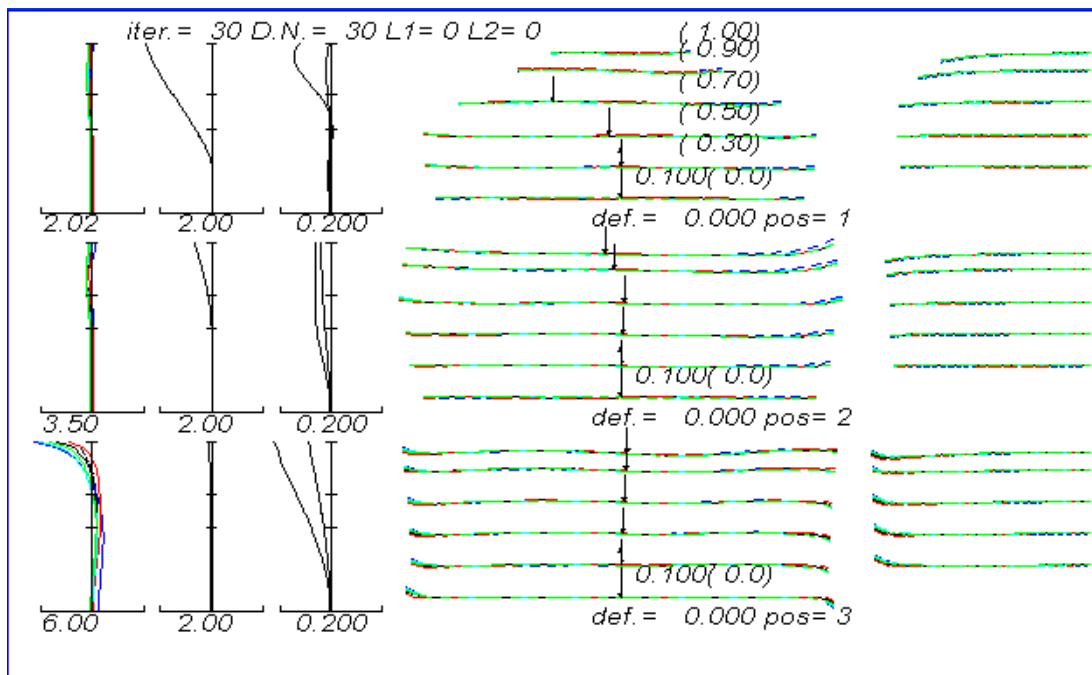
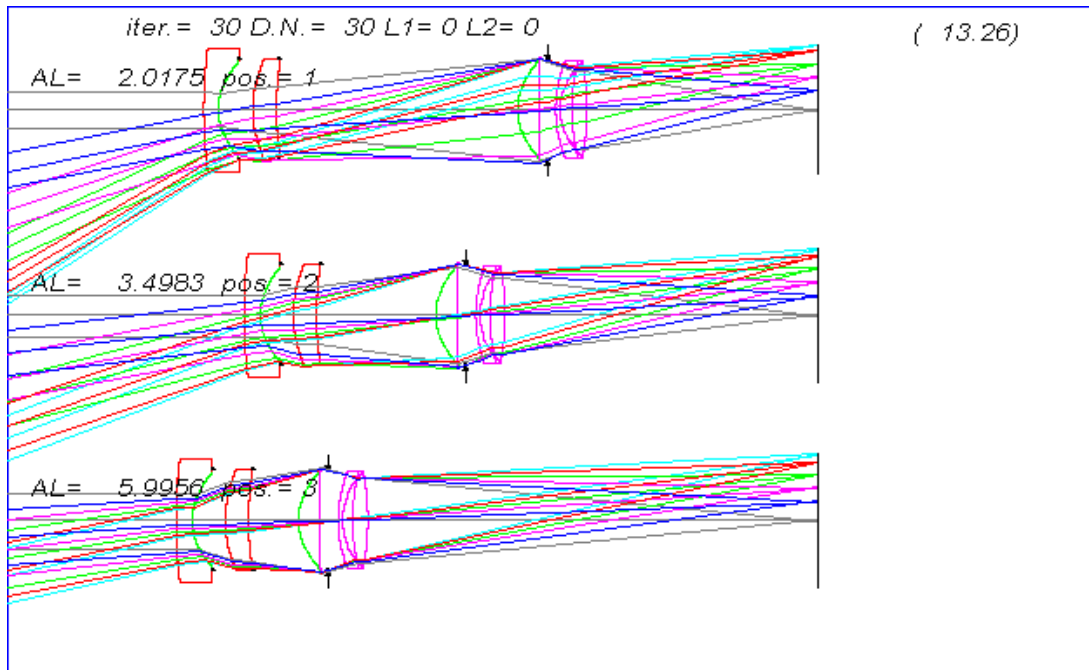
```

```

* back focus controll
c 38.5000 < (PARA/FB Z2 C1 ) < 1000. : 8.4589 ( 2DFB
* light value controll
c 0.0000 < (K32/LVAL Z2 ) < 10.0 : 1.0567 ( 2LVAL
* lens width controll
*
* distortion controll
c -2.5 < (TR/DIST Z2 F1) < 1.5 : -1.3100 ( 2DIS1
c -1.5 < (TR/DIST Z2 F2) < 1.0 : -0.5158 ( 2DIS2
c ((TR/DIST Z2 F2)/(TR/DIST Z2 F1)) T=0.5 W=1.0 : 0.3938 ( 2DIS2/
c -1.0 < (TR/DIST Z2 F3) < 1.0 : -0.2583 ( 2DIS3
c ((TR/DIST Z2 F3)/(TR/DIST Z2 F1)) T=0.25 W=1.0: 0.1972 ( 2DIS3/
*
* sag. mer. best defocus difference value controll
c ((SPL/SPTBST Z2 /MR F2)-(SPL/SPTBST Z2 /SG F2)) T=0.0 W=1.0 : -0.0830
c
* aberration controll at 3-th zoom position
* focal length controll
c (PARA/F Z3 C1 ) TARGET= 6.0000 WEIGHT=10.0 : 5.3531 ( 3DFL
* back focus controll
c 38.5000 < (PARA/FB Z3 C1 ) < 1000. : 10.0309 ( 3DFB
* light value controll
c 0.0000 < (K32/LVAL Z3 ) < 10.0 : 1.0564 ( 3LVAL
* lens width controll
*
* distortion controll
c -2.5 < (TR/DIST Z3 F1) < 1.5 : -0.6173 ( 3DIS1
c -1.5 < (TR/DIST Z3 F2) < 1.0 : -0.3024 ( 3DIS2
c ((TR/DIST Z3 F2)/(TR/DIST Z3 F1)) T=0.5 W=1.0 : 0.4900 ( 3DIS2/
c -1.0 < (TR/DIST Z3 F3) < 1.0 : -0.1543 ( 3DIS3
c ((TR/DIST Z3 F3)/(TR/DIST Z3 F1)) T=0.25 W=1.0: 0.2500 ( 3DIS3/
*
* sag. mer. best defocus difference value controll
c ((SPL/SPTBST Z3 /MR F2)-(SPL/SPTBST Z3 /SG F2)) T=0.0 W=1.0 : -0.0793
* blank line to detach aberration
* blank line to detach aberration
* blank line to detach boundary
* blank line to detach parameter weight
* blank line to detach parameter boundary

```

を用いれば



が得られるが、ほぼ満足出来るであろう。

§ 5-12 KBFOPT を用いた設計例 (旧 B-42)

KHDABR では光線の $(\Delta y_j, \Delta z_j)$ を小さくすることであり、これは幾何光学的 OTF の低周

波に対する最適化と同じである。なぜかと言うと、幾何光学的 OTF は

$$R(s, t) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \{ \cos 2\pi(s\Delta z_j + t\Delta y_j) + i \sin 2\pi(s\Delta z_j + t\Delta y_j) \} \quad (1)$$

で与えられ、これの第 1 近似は $s, t \rightarrow 0$ として

$$R(s, t) = 1 - \frac{1}{2N} \sum_{j=1}^N \{ 2\pi(s\Delta z_j + t\Delta y_j) \}^2 + \frac{i}{N} \sum_{j=1}^N 2\pi(s\Delta z_j + t\Delta y_j)$$

となるが、第二項は原点を移動することによりゼロにすることが出来る。これより、 $\Delta y_j, \Delta z_j \rightarrow 0$ は低周波 ($s, t \rightarrow 0$) での最適化になっている。事実 GAUSS28. KSK を用いた実験では低周波 (例えば $1 \lambda/\text{mm}$) の最良像面 (画面全体) は gauss 像面近くにあるが、 $40 \lambda/\text{mm}$ の最良面はそれより under (-0.04 附近) にある。そこで軸上 $40 \lambda/\text{mm}$ の最良像点を収差として取扱う

$$(SPL/MTFBST Z1 Q4) \quad \textcircled{2}$$

を導入して、これを gauss 像面に引張ろうとしても余りうまくゆかない。残るは KHDABR=0 として defocus を定め (例えば -0.04) その点での OTF を収差として改良することであり、これは日頃行なっていることである。

そこで gauss 像面上で直接 $40 \lambda/\text{mm}$ の OTF を最適化することを考えた。g を OTBEST で与えられる周波数 ($40 \lambda/\text{mm}$) とすれば meridional 方向の理想状態 ($R=1$) からのズレは

$$1 - R(0, g) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \{ 1 - \cos(2\pi g \Delta y_j) \} + i \cdot \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sin(2\pi g \Delta y_j)$$

であるから、一本の光線に対し

$$1 - \cos(2\pi g \Delta y_j)$$

と

$$\sin(2\pi g \Delta y_j)$$

を収差として、これを小さくすれば良いと考えられる。同様 sagittal 方向は Δy_j を Δz_j で置換したものを取扱えば良いことになる。これを行なうものが **HIDCHG** の中の第 1 data にある KBFOPT である。この option は収差がまとまった状態でなければ効果を発揮しないので注

意が必要である。内部では

$$|2\pi g_{\Delta y_j}| < 64.0$$

の範囲は上の収差を使い、それより外は Δy_j そのものを用いている。

②で与えられる収差は新らしく追加されたもので、 Q を指定することにより **best defocus** を単純収差として取扱っている。

さて収差が小さくなれば幾何学的なOTFではなくて波動光学的なOTFを用いる必要があるがこの場合はHIDCHGに於いて以下のごとく KBF OPT=2 として最適化すればよい。

```
* KHDWFA : flag to use wave front aberration
* KSYMAB : flag to use symmetric procedure for performancefunction
* weight for this aberration is WSYMAB
* KBF OPT : flag to optimize OTF at best frequency(OTBEST)
* 1--> use geometrical OTF, 2--> use diffraction counted
*
* MESHNY MESHNZ KSQMSH IRSCNT KWTCNT KHDWFA KSYMAB KBF OPT
* 10 10 0 0 0 0 0 2
*
* position selection to execute spot aberration
* 1-->execute spot aberration 0--> not
* but if blank line, all position is selected
*
* ALPHA : representative value of alpha
* ray weight is given by 1.0/(A*(Y**2+Z**2))*alpha)
* where A is normalization constant
* If alpha is positive flare is treated relatively light
* WSYMAB : weight for symmetric disposed aberration
* ALPHA WSYMAB
* 0.5 1.0
*
* IG=INTGL_PIT : integral pitch to compute above OTF
* if IG=0, 1 is supplied and if IG=2, data stock memory is half reduced
* KQ=K_QUICK_BFOPT_W : speed up dif. OTF optimize
* but some subsidiary aberration cannot be controlled
* IG KQ
* 0 0
*
* 1-blank lines for future use
*
```

具体的なテストデータとしては TEST_DATA¥回折型_KBF OPT の中に 4 個のデータがあり、

- 1.original、2.spot_optimized、3.geometrical_168_l_optimized、
4. diffractive_168_l_optimized

が用意されている。これは CANON の特許であり、デジカメ用の 5.7~16.6 のズームレンズである。まず data-1 を R のみを可変として、ガウス像面上でスポットを従来の方法で最適化したものが data-2 でありそれを KBF OPT=1 として幾何光学 OTF の 168 l/mm を最適化し

たものが **data-3** である。

このとき幾何光学的 OTF と波動光学的 OTF との最良像面を調べてみると

	Wide	normal	tele
幾何光学的 OTF	-0.0011	-0.0081	-0.0041
波動光学的 OTF	-0.0016	-0.0078	-0.0032

となっておりそれほど差は見られないがこの値が波動光学的にも最良かどうかは判らないところである。そこで更に **data-3** に於いて **KBFOPT=2** として最適化したものが **data-4** でありその **168 l/mm** の波動光学的 OTF を **OTF3D** で計算してみるとその最良像面は

	wide	normal	Tele
data-4 最良像面	-0.0006	-0.0026	0.0009

であり、明らかにガウス像面に近づいている。さてその波動光学的 OTF は

最良像面上の OTF		軸上	0.3-sag.	0.3-mer.	0.5-sag.	0.5-mer.	0.7-sag.	0.7-mer.
wide	data-3	0.6389	0.6237	0.6816	0.5992	0.5444	0.5749	0.3741
	data-4	0.6362	0.6307	0.6208	0.592	0.544	0.5176	0.4632
normal	data-3	0.6757	0.6472	0.6428	0.635	0.6005	0.6503	0.592
	data-4	0.6437	0.6426	0.6496	0.6279	0.6262	0.5888	0.5636
tele	data-3	0.5225	0.5352	0.5223	0.5362	0.4296	0.5028	0.4545
	data-4	0.6265	0.6201	0.6004	0.6017	0.5426	0.5945	0.5029

であり概ね改良されている。つぎに **INTHID=1** として **ITL** を実行すれば

```

hidden aberration basic data
# used aberration no.(max.=28000)=19696      NZOOM= 3  IRO= 5
# diffraction counted OTF at 168.0000 is optimized
# JIKUSU  ITLPIT
  5        1
  JIKUSU= radial axis number to integrate
  ITLPIT=integration pitch; if 2 is given aberration is half reduced
# aberration counted number for each object for 1 spectrum
  position      axis      ( 1)      ( 2)      ( 3)      ( 4)      ( 5)
  ( 1)          260       72       250       254       247       258
  ( 2)          256       74       246       248       241       250
  ( 3)          244       72       236       240       232       242
  
```

が得られるが、このことは **3-zoom position** で **19696** 個の収差が使用されていることを意味している。そのためもっと **position** を増やしたいときは **JIKUSU=3** または **ITLPIT=2** とする必要がある。**JIKUSU** は極座標積分の座標軸の数でありその標準値は **5** である。**3** とした時の **3-position** での使用収差数は約 **12000** 個でありはば **6-zoom position** まで最適化が可能である。**ITLPIT** は **HIDCHG** の **4** 番目の **data** の **IG** であり **2** とすれば積分を間引きして **50%** のみを収差として選択することになる。

さて最近の高倍率ズームレンズでは **position** 数を沢山取らねばならないことや手振れ補正機能のことなどを考えて **100,000** 個の収差まで取り扱えるようにメモリーを増やして

ある。さらに、第二周波数として **OTBEST_2** とそれに対する weight **WGT_2** を与え **KUSSCF (use second frequency)** に 1 を入れれば二つの周波数に対して最適化が可能である。

§ 5-13 部分系で発生する収差の取扱い(LSDLS1 , LSDLS2)

§ 5-13-1 理論

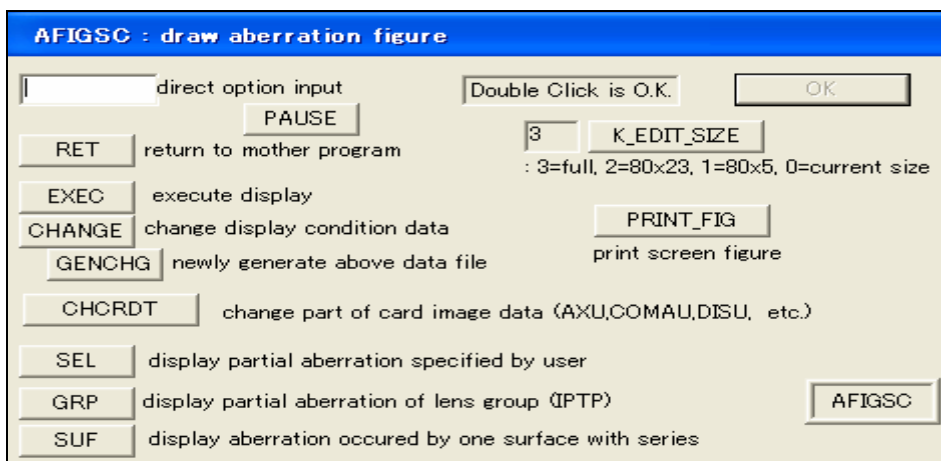
各面各群で発生する収差は、収差係数によって制御できるが、いささかその制御や理解が間接的になってしまうが、それを光線収差として図示または数値として取り扱う。この理論は Berek(ref.8)の § 4 にあるが、i-面から j-面によって発生する収差(これを $\Delta(i, j)$ と表現)を求めるには

$$\Delta(i, j) = \Delta(1, j) - \Delta(1, j-1)$$

によれば良い。ただし、 $\Delta(i, j)$ は j 面まで追跡し、光線収差を求めた後で、その収差に適切な倍率をかけて最終像の収差 unit に合わせる必要がある。そのためには j 面から最終面(k 面とする)まで、

$$\beta = u'_j / (N'_k \cdot u'_k)$$

によって横倍率を定義し、横収差は β 倍、縦収差は β^2 する必要がある。右辺に N_j がないのは、最終空間に対応させるためである。実際の使用法は、収差図の option **AFG** で



が与えられるので **SEL** , **GRP** , **SUF** を選べば良い。数値が知りたい時は **LENS** → **ITAB** と進めば同様の option が存在する。最適化の場合は **DCTCHG** の 2 page 目の LSDLS1 と LSDLS2 に面番号を入れれば良い。但し、この時部分系の収差として最適化されるのは一括収差のみであり、**EDTDCT** で修正可能な収差は全系のものに対するものである。つまり

部分系の F や FB はここでは取扱われない。この収差の具体的な例題は次節で与えられる。

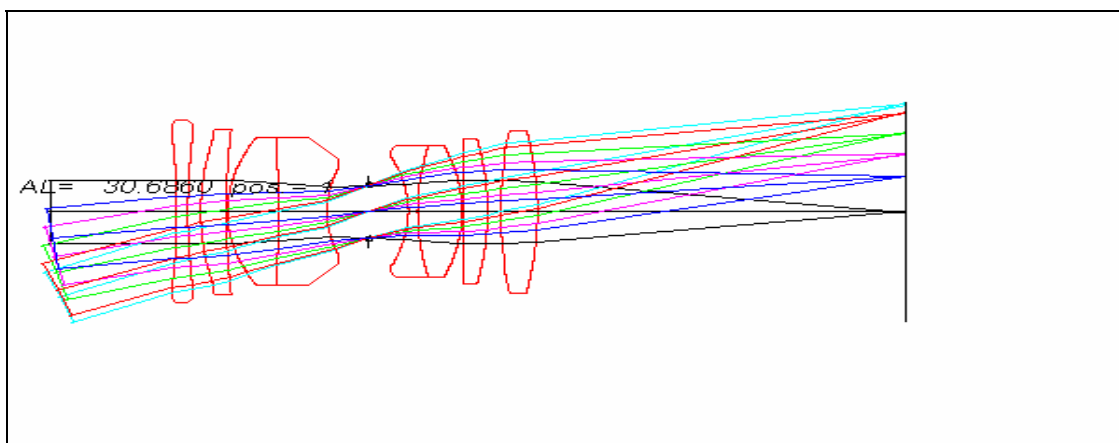
§ 5-13-2 部分系で発生する収差の確認

前節で解説されている部分系の収差については実用的例題が見つからないがプログラムの正しさの検証として以下の計算例を作ってみた。まずテストデータとして GAUSS28.KSK を持ってきて、第一面から第 11 面までを IR2 によって焦点距離を 50.0 に保ち、その前後に単レンズをつけ

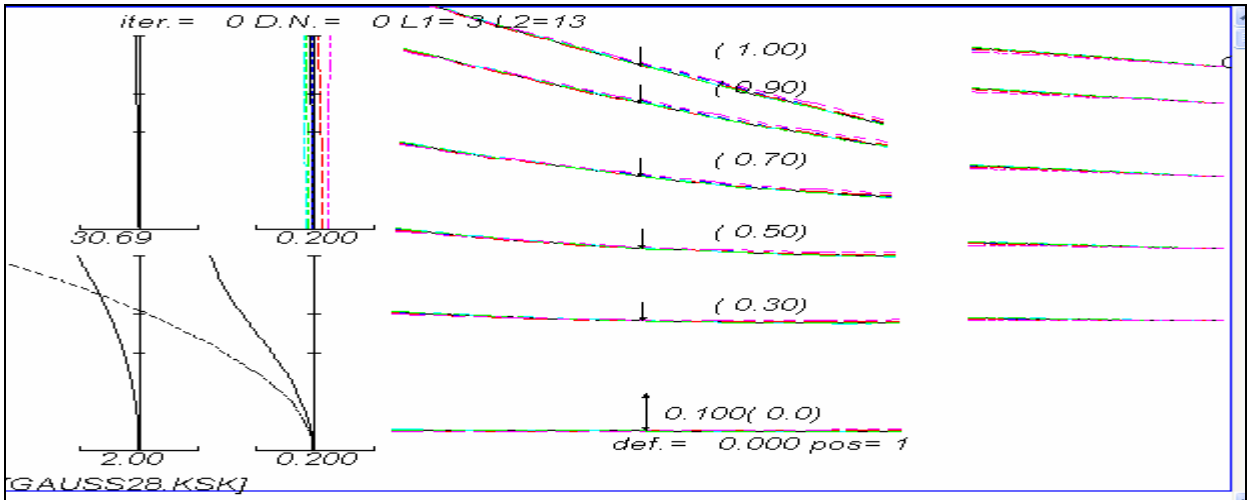
surf.	<-- R -->	<-- D -->	index		----
1	-100.0000	1.0000	BK7		
2	100.0000	1.0000			
3	36.6122	2.1118	1.80235	46.70256	
4	111.9949	0.1000			
5	16.7351	3.9558	1.56873	63.12209	
6	-170.3873	3.8772	1.80235	46.70256	
7	13.5766	3.3777			
* 8		3.1037			
9	-15.2074	0.7182	1.64769	33.87500	
10	34.5708	3.5923	1.80235	46.70256	
11	-20.7474	0.1000			
12	-800.7604	1.8789	1.80235	46.70256	
13	-41.2318	1.0000			
14	50.0000	3.0000	BK7		
15	-50.0000				

there is no data after this line

とする([TEST_DATA¥各群収差 ¥NEGATIVE_SINGLE_GAUSS28_KSK_POSITIVE_SINGLE]). このときの断面図が



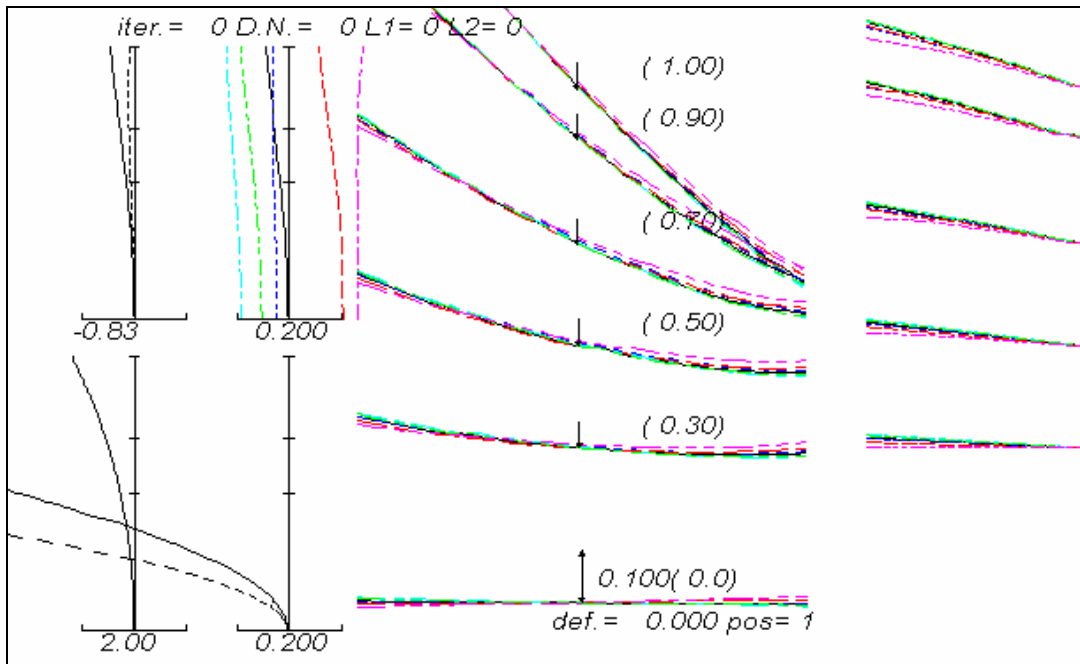
である。ただし、TAKASA(8)=3.0 として光束は絞りのみで制限している。このあとで MODIFY→AFG→SEL→0313 と進めば部分系の収差として



が得られ、LENS→ITAB-on-->SEL→0313により収差の値として

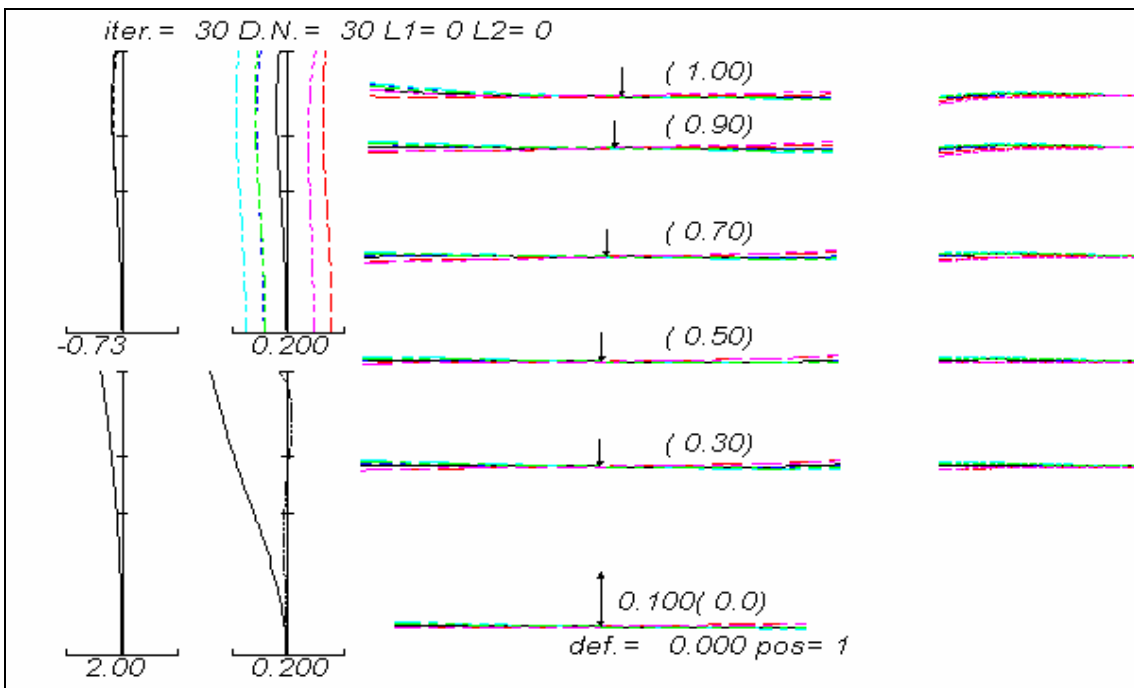
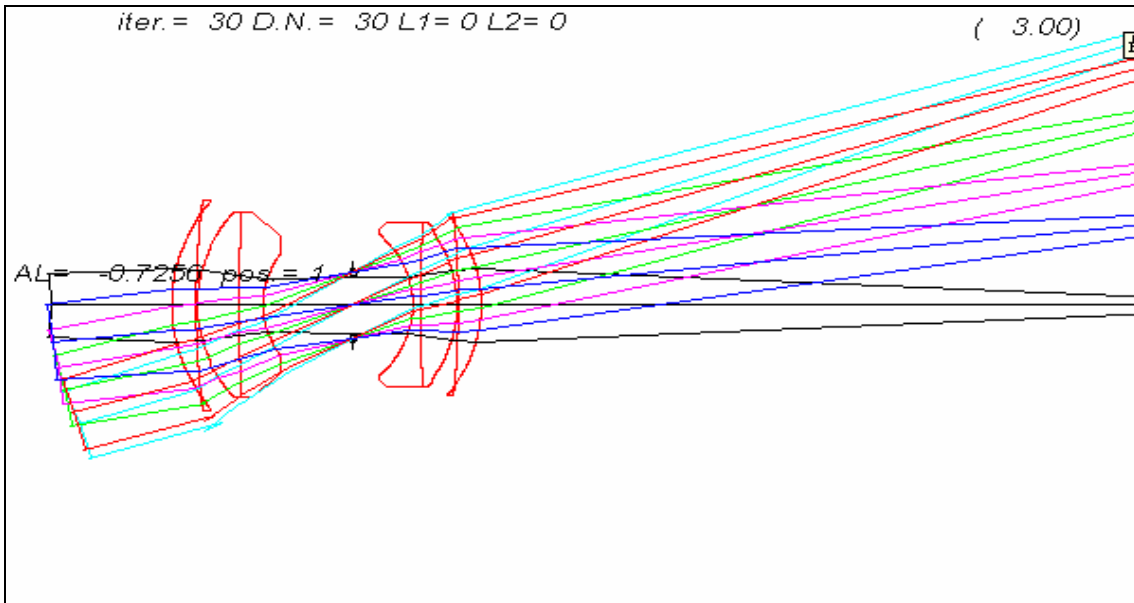
	D	s.c.	G	C	F	E	H								
(1.00)	-0.0148	0.0097	-0.0085	0.0153	-0.0370	-0.0294	0.0517								
(0.90)	-0.0129	0.0069	-0.0090	0.0175	-0.0363	-0.0279	0.0498								
(0.80)	-0.0109	0.0048	-0.0090	0.0198	-0.0352	-0.0261	0.0486								
(0.70)	-0.0088	0.0032	-0.0086	0.0222	-0.0339	-0.0243	0.0480								
(0.60)	-0.0067	0.0021	-0.0081	0.0244	-0.0325	-0.0224	0.0477								
(0.50)	-0.0048	0.0013	-0.0074	0.0265	-0.0312	-0.0207	0.0476								
IHI	RSO	dist.	D-sag.	D-mer.	G-sag.	G-mer.	C-sag.	C-mer.	F-sag.	F-mer.	E-sag.	E-mer.			
1	(1.00)	-2.0445	-0.3565	-1.1260	-0.2872	-1.0451	-0.3385	-1.1093	-0.3462	-1.1105	-0.3608	-1.1288			
4	(0.90)	-1.6513	-0.3268	-0.9090	-0.2710	-0.8385	-0.3064	-0.8905	-0.3234	-0.8987	-0.3332	-0.9135			
2	(0.70)	-0.9896	-0.2409	-0.5599	-0.2086	-0.5130	-0.2163	-0.5375	-0.2493	-0.5614	-0.2511	-0.5680			
3	(0.50)	-0.4987	-0.1416	-0.2970	-0.1275	-0.2732	-0.1136	-0.2705	-0.1593	-0.3100	-0.1547	-0.3087			
5	(0.30)	-0.1779	-0.0558	-0.1111	-0.0541	-0.1054	-0.0255	-0.0814	-0.0799	-0.1332	-0.0709	-0.1256			
0	(0.00)	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0054	-0.0054	0.0317	0.0317	-0.0278	-0.0278	-0.0163	-0.0163			
(0.00)	D	0.0017	0.0008	0.0003	0.0000	0.0000	-0.0003	-0.0008	-0.0017	sg-z	0.0017	0.0008	0.0003	0.0000	
	G	0.0017	0.0013	0.0008	0.0003	0.0000	-0.0003	-0.0008	-0.0013		0.0017	0.0013	0.0008	0.0003	
	C	-0.0017	-0.0018	-0.0015	-0.0009	0.0000	0.0009	0.0015	0.0018		-0.0017	-0.0018	-0.0015	-0.0009	
	F	0.0045	0.0031	0.0019	0.0009	0.0000	-0.0009	-0.0019	-0.0031		0.0045	0.0031	0.0019	0.0009	
	E	0.0034	0.0022	0.0012	0.0005	0.0000	-0.0005	-0.0012	-0.0022		0.0034	0.0022	0.0012	0.0005	
	H	-0.0043	-0.0030	-0.0020	-0.0010	0.0000	0.0010	0.0020	0.0030		-0.0043	-0.0030	-0.0020	-0.0010	
(1.00)	D	0.1866	0.1369	0.0894	0.0438		-0.0420	-0.0821	-0.1201	-0.1555	sg-z	0.0505	0.0393	0.0268	0.0135
45-y		0.1365	0.1000	0.0650	0.0316	-0.0002	-0.0305	-0.0589	-0.0852	-0.1087	sg-y	0.0117	0.0064	0.0028	0.0007
45-z		0.0451	0.0325	0.0207	0.0098	-0.0001	-0.0088	-0.0162	-0.0216	-0.0244					
	G	0.1860	0.1389	0.0930	0.0482	0.0047	-0.0375	-0.0782	-0.1172	-0.1538		0.0479	0.0377	0.0259	0.0132
	C	0.1838	0.1347	0.0878	0.0429	0.0001	-0.0409	-0.0799	-0.1167	-0.1508		0.0475	0.0370	0.0252	0.0127
	F	0.1885	0.1394	0.0919	0.0460	0.0016	-0.0413	-0.0825	-0.1218	-0.1587		0.0520	0.0406	0.0277	0.0140
	E	0.1879	0.1382	0.0904	0.0445	0.0003	-0.0422	-0.0829	-0.1216	-0.1577		0.0518	0.0404	0.0275	0.0139
	H	0.1808	0.1367	0.0932	0.0506	0.0089	-0.0318	-0.0711	-0.1087	-0.1440		0.0404	0.0324	0.0225	0.0115

が得られる。さてこれ等の値が正しいかどうかを調べる必要がある。そのために第一レンズによって作られる像を調べれば、これは無限遠の物点を第三面から見て-97.0019 の位置に-41.8492 の像を作るためもとの GAUSS28.KSK で物体距離と物体高を変更すれば ([YUUGEN_GAUSS28.KSK]), 収差図とその値として



	D	s.c.	G	C	F	E	H							
(1.00)	-0.1018	-0.0280	-0.0901	0.1030	-0.2593	-0.2002	0.2481							
(0.90)	-0.0889	-0.0302	-0.0908	0.1178	-0.2528	-0.1892	0.2399							
(0.80)	-0.0747	-0.0290	-0.0885	0.1337	-0.2443	-0.1766	0.2356							
(0.70)	-0.0601	-0.0255	-0.0843	0.1497	-0.2346	-0.1635	0.2341							
(0.60)	-0.0459	-0.0209	-0.0791	0.1651	-0.2247	-0.1506	0.2345							
(0.50)	-0.0329	-0.0157	-0.0735	0.1791	-0.2153	-0.1386	0.2360							
IHI	RSD	dist.	D-sag.	D-mer.	G-sag.	G-mer.	C-sag.	C-mer.	F-sag.	F-mer.	E-sag.	E-mer.		
1	(1.00)	-2.3444	-3.0979	-8.5945	-2.9624	-8.5098	-2.9346	-8.4386	-3.1773	-8.6867	-3.1671	-8.6639		
4	(0.90)	-1.8417	-2.6969	-6.9574	-2.5990	-6.8908	-2.5243	-6.7919	-2.7974	-7.0638	-2.7734	-7.0328		
2	(0.70)	-1.0547	-1.8371	-4.2142	-1.8012	-4.1874	-1.6484	-4.0310	-1.9730	-4.3491	-1.9259	-4.3010		
3	(0.50)	-0.5151	-1.0225	-2.1580	-1.0325	-2.1689	-0.8214	-1.9601	-1.1850	-2.3183	-1.1207	-2.2547		
5	(0.30)	-0.1798	-0.3899	-0.7804	-0.4302	-0.8202	-0.1803	-0.5721	-0.5701	-0.9595	-0.4944	-0.8843		
0	(0.00)	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0572	-0.0572	0.2144	0.2144	-0.1903	-0.1903	-0.1081	-0.1081		
(0.00)														
D	0.0045	0.0022	0.0007	0.0001		-0.0001	-0.0007	-0.0022	-0.0045	sg-z	0.0045	0.0022	0.0007	0.0001
G	0.0039	0.0028	0.0016	0.0007	0.0000	-0.0007	-0.0016	-0.0028	-0.0039		0.0039	0.0028	0.0016	0.0007
C	-0.0045	-0.0046	-0.0039	-0.0022	0.0000	0.0022	0.0039	0.0046	0.0045		-0.0045	-0.0046	-0.0039	-0.0022
F	0.0114	0.0079	0.0047	0.0022	0.0000	-0.0022	-0.0047	-0.0079	-0.0114		0.0114	0.0079	0.0047	0.0022
E	0.0088	0.0056	0.0030	0.0013	0.0000	-0.0013	-0.0030	-0.0056	-0.0088		0.0088	0.0056	0.0030	0.0013
H	-0.0108	-0.0077	-0.0051	-0.0026	0.0000	0.0026	0.0051	0.0077	0.0108		-0.0108	-0.0077	-0.0051	-0.0026
(1.00)														
D	0.5020	0.3650	0.2357	0.1140		-0.1062	-0.2042	-0.2930	-0.3710	sg-z	0.1320	0.1030	0.0703	0.0356
45-y	0.3590	0.2608	0.1681	0.0811	-0.0003	-0.0757	-0.1444	-0.2054	-0.2567	sg-y	0.0351	0.0192	0.0083	0.0021
45-z	0.1248	0.0895	0.0567	0.0267	-0.0001	-0.0232	-0.0420	-0.0551	-0.0603					
G	0.4859	0.3562	0.2319	0.1134	0.0011	-0.1045	-0.2027	-0.2925	-0.3717		0.1222	0.0968	0.0667	0.0339
C	0.4978	0.3620	0.2343	0.1145	0.0026	-0.1013	-0.1967	-0.2828	-0.3579		0.1246	0.0974	0.0665	0.0336
F	0.4992	0.3639	0.2352	0.1132	-0.0019	-0.1097	-0.2098	-0.3011	-0.3818		0.1342	0.1052	0.0720	0.0365
E	0.5028	0.3657	0.2360	0.1136	-0.0013	-0.1086	-0.2078	-0.2980	-0.3775		0.1349	0.1053	0.0719	0.0364
H	0.4683	0.3461	0.2282	0.1151	0.0076	-0.0938	-0.1882	-0.2742	-0.3499		0.1030	0.0830	0.0577	0.0295

が得られるが、最終単レンズによる倍率が **0.38** であることを考えるとたとえば最大高さ球面収差は $-0.1018 \times (0.38)^2 = -0.0147$ で最初のデータと一致し、最大画角の下光線は $0.5020 \times 0.38 = 0.1908$ となり最初のデータ **0.1866** とほぼ一致している。このデータを LENS WIDTH のみ **25.0** 以下の条件で全可変で最適化すれば



([YUUGEN_GAUSS28.KSK_optimized]) が得られる。つぎに、最初のデータに戻り前後の単レンズは固定とし中間のガウスタイプのみを可変とし、3-面から 13-面の一括収差を小さくするため、DCTCHG→TAB2 において

3	LSDLS1 : start surface number for partial group occuring aberration(KHDABR only)
13	LSDLS2 : last surface

とし、3~13 面を 25.0 以下にするため LENS-WIDTH を 31.0 に制限する。このときの

DLS のコントロールが

```

* from here DLS control data [DCI-T 11],aberration, boundary,etc
* KBDEDT(63~) : flag to enable to use screen editor to change
*      parameter weight, boundary condition and parameter boundary of TLDS
c KEND KTABEX      KHADJY      KBDEDT      KHDABR
30.0      .01      .01      .01 313
c IR: give 1 to i-th column when R(i) is variable
0011111.1111000
c ID: give 1 to i-th column when D(i) is variable
001111111111100
c IN: give 1 to i-th column when i-th lens index is variable
011111110
c ZKMEN      ZDLOW      ZDH      ZIRIS      CORLMT      SAZR
c ZKLA      ZKBI      ZLMT      RHU      SINLMT      BWGSIN
c BWGD      BWGRH      BWGZVL      BWGGLS      *****      PRMCOF
c PWGR      PWGD      PWGN      PWGV      PWGGK1      PWGGKT      PWGFB      PWGBND
c GOSAR      GOSAD      GOSAN      GOSAV      GOSASH      GOSATL      GOSACM      GSCPL
c ZKB      SDAMP      DCOF10      DCOF3      DRINC      DDINC      DNINC      GOSAR2
c next line is not used now
c
c from here aberration line
c
* aberration control at 1-th zoom position
* focal length control
* 0.0 < (K32/LWID.Z1 ) < 31.0
*

```

であり、これを用いて最適化すれば、ほぼ同じデータ ([NEGATIVE_SINGLE_GAUSS28_KSK_POSI_SINGLE_DLS_IMPROVED]) が得られる。以上の実験によりほぼ部分群に関するプログラムの正しさは確認できた。

§ 5-14 zoom 双眼鏡の設計

すでに § 5-11-8 で 8×30 の固定焦点双眼鏡を設計したが、これを発展させて 8~16 倍の zoom 双眼鏡を設計してみよう。§ 5-11-8 の最適化で得られた結果は 8×30. KSK として登録されているので、まずこれを用いる。双眼鏡への入射角は中間像の位置に設けられる視野絞

り(視界環)によって決定されるが、これに対応した Y-捜しを行う必要がある。これを行うには **LENS_CNT-Tab9** の IMGEYE に中間像の出来る間隔番号(この場合は5)を入れ、次に第10-Tab (HSAG) の AIMS に視野絞りの半径(10.0)を入れ、同じTabの KYSAG を on にすれば良い。この状態で **ROUT** → **PRN** を行えば従来の出力に加え中間像の情報として

```

..... zoom position No.= 1, F= -120.0000, objective distance= -0.1000D+23 KBTRA= 1 KCTRA= 0
OBJD= -0.10000000D+23 SAU= 15.0048 SAL= 0.0000 QNTP= 0.0000 def.= 0.0000
NZMEQ= 3 FNO(using ray)= 0.000 ; N.A.(object side)= 0.00000 N.A.(image side)= 0.00000
chief-Y : Y-value on pupil plane of a ray which passes center of real pupil

KAFCL= 2 FIDEAL= 15.000000 angular mag.= -8.0000

(1~ 5)= objective F= 200.0000 Fb= 93.6985
maximum intermediate image Y= 10.0000

IHI LSL LSU RSO VT SO deg. Y' deg. HHL HHU SAG.M. chief-Y
1 1 1 1.00 1.00 -0.0500 ( 2.9) -6.5360 ( 24.2) -15.0464 14.9633 15.0048 0.0000
2 1 1 0.70 1.00 -0.0350 ( 2.0) -4.3637 ( 18.2) -15.0341 14.9755 15.0048 0.0000
3 1 1 0.50 1.00 -0.0250 ( 1.4) -3.0543 ( 13.5) -15.0268 14.9853 15.0048 0.0000
4 1 1 0.90 1.00 -0.0450 ( 2.6) -5.7717 ( 22.4) -15.0415 14.9682 15.0048 0.0000
5 1 1 0.30 1.00 -0.0151 ( 0.9) -1.8189 ( 8.3) -15.0171 14.9926 15.0048 0.0000
0 1 1 0.00 1.00 0.0000 ( 0.0) 0.0000 ( 0.0) -15.0048 15.0048 15.0048 0.0000

```

さて zoom 双眼鏡の type としては、古典的 4 群 zoom が使われるが、そのために prism の後に凹レンズを挿入する。この凹レンズの焦点距離をいくつかのものをを用いるかは移動量と使用倍率によるが § 9-5-1 の(9-2)式を用いて、2 倍 zoom 比より

$$\Delta D = 10.0, \quad \beta_W = 2.0, \quad \beta_T = 1.42$$

とすれば

$$f = -48.3$$

になるが、ここでは-50.0 を用いることにする。そこで、この凹レンズが $\beta = 2.0$ で作用するためには、物体距離が 25.0 であるため、前 data の中間像位置から

$$93.6985 - 25.0 = 68.6985$$

を得、 **LCARD** → **MDFRDN** と進み、INSERT-key を 2 回押し、

c surf.	<-- R -->	<-- D -->	index				----
1	135.9224	5.0000	1.59799	1.60979	1.59508	1.60465	1.60029
2	-98.0736	3.0000	1.80000	1.82925	1.79339	1.81602	1.80538
3	-298.5853	50.0000					
4		80.0000	BK7				
5		68.6495					
6	-50.0000	0.0	1.5	60.0			
7	50.0000						
8	-307.2058	5.0000	1.80000	1.82014	1.79513	1.81128	1.80386
9	-24.8876	3.0000	1.75333	1.79124	1.74510	1.77380	1.76012
10	-34.8788	0.1000					
11	31.4851	5.0000	1.72306	1.73923	1.71911	1.73216	1.72619
12	-38.7480	3.0000	1.80000	1.84313	1.79072	1.82320	1.80768
13	265.4842	20.0000					
14							

c there is no data after this line

として凹レンズを挿入する。この状態で対物の焦点距離が2倍になり、このままでは入射角が大きすぎるので `MINUTE` → `REOBJH` により入射角の tangent を半分の -0.025 に変更する。挿入された凹レンズは $r_1 = -r_2 = -50.0$ $d = 0.0$ $N = 1.5$ のレンズである。この後で `ROUT` を行えば $NZMEQ = 3$ より $d_7 = 70.7874$ と決定され、16倍の双眼鏡が出来上がる。次にこの d_7 を `LCOPIY` 又は `MDFRDN` で LENS. CRD に取込み、`MINUTE` → `ADDIZP` によって zoom position を3に増やし、`ZOOM_CNT-Tab2` に於いて、 $IPTP(1) = 5$, $IPTP(2) = 7$, $IPTP(3) = 10$ にする。即ち、 g_3 の凹レンズと g_4 の貼り合せ凸レンズを可動レンズとして指定し、第1-Tab に於いて3つの position で $NZMEQ = 1$ とし、第3-Tab に於いて3つの position で $KAFCL = 2$ とし、第4-Tab に於いて第1、第2、第3 position の F を -240.0, -169.7, -120.0 にして `ROUT` を行えば、それぞれの position が 16X, 11.2X, 8X になっていることが判る。さらに $d_6 = 1.0$ にした時の出力が

	R(I)	D(I)	ND	Vd	h	u	hg	ug	max. -Y	koba-Y
[1]	135.9224	5.0000	1.59799	62.4	-240.0000	-0.6608S	1.000	0.002753S (14)	15.01\$ (28)	2.68
[2]	-98.0736	3.0000	1.80000	35.3	-236.6962	-0.3157	0.986	0.001316 (15)	14.95 (29)	3.91
[3]	-298.5756	50.0000			-235.7490	-1.2000	0.982	0.005000B (16)	14.95 (30)	50.28
[4]	0.0	80.0000	1.51633	64.1 BK7	-175.7490	-0.7914	0.732	0.003297 (17)	12.94 (31)	80.00
[5]	0.0	68.6495			-112.4382	-1.2000	0.468	0.005000 (18)	10.84 (32)	67.83
[6]	-50.0000	1.0000	1.50000	60.0	-30.3224	-0.5979	0.126	0.002491 (19)	7.71 (33)	2.63
[7]	50.0000	69.6455			-29.7246	-0.5995	0.124	0.002498 (20)	7.77 (34)	29.86
[8]	-307.2058	5.0000	1.80000	49.6	12.0300	-0.3505	1.000	-0.001447S (21)	12.97 (35)	0.76
[9]	-24.8876	3.0000	1.75333	26.3	13.7824	-0.3451	1.007	-0.000408 (22)	13.12 (36)	4.28
[10]	-34.8788	1.5105			14.8176	-0.2850	1.008	0.021066 (23)	13.53 (37)	6.31

[11] 31.4851 5.0000 1.72306 55.4 15.2480 0.0378 0.977 0.025243 (24) 12.37 (38) -0.52
 [12] -38.7480 3.0000 1.80000 24.7 15.0588 0.0196 0.850 0.023225 (25) 12.24 (39) 5.64
 [13] 339.9774 20.0000 15.0000 0.0000 0.781 0.039969B(26) 10.99 (40) 19.98
 [14] 0.0 15.0000 1.0000 -0.019 0.038727 (27) 3.80

	Vd	D	G	C	F	E	vol(cm**3)	weight	boundaries
1(1)	62.4	1.59799	1.60979	1.59508	1.60465	1.60029	2.8360	9.4137 (78)	0.25 (79) 0.00 (80) 0.40
2(2)	35.3	1.80000	1.82925	1.79339	1.81602	1.80538	2.3757	11.3299 (81)	0.19 (82) 0.16 (83) 0.00
3(4) BK7	64.1	1.51633	1.52621	1.51385	1.52190	1.51825	42.0923	112.7873 (84)	0.01 (85) 0.03 (86) 0.57
4(6)	60.0	1.50000	1.51031	1.49747	1.50580	1.50200	0.3042	0.7580 (87)	0.00 (88) 0.12 (89) 0.60
5(8)	49.6	1.80000	1.82014	1.79513	1.81128	1.80386	1.7964	8.2179 (90)	0.45 (91) 0.00 (92) 0.00
6(9)	26.3	1.75333	1.79124	1.74510	1.77380	1.76012	2.0619	9.7263 (93)	0.00 (94) 0.36 (95) 0.09
7(11)	55.4	1.72306	1.73923	1.71911	1.73216	1.72619	1.3207	5.4559 (96)	0.45 (97) 0.00 (98) 0.15
8(12)	24.7	1.80000	1.84313	1.79072	1.82320	1.80768	1.9228	9.6882 (99)	0.00 (100) 0.28 (101) 0.00
							(54.7100)	(167.3770)	

* fixed iris height (* <-- user given height)
 [1] 15.0104 [

* following 33 parameters are converted to aberration group (in D.L.S.) with K1=32

	posi. -->	(1)	(2)	(3)	(
(1)	AL : EFL or behta (AL)	-16.0000	-11.3133	-8.0000	
(2)	EFL : focal length	-240.0000	-169.7000	-120.0000	
(3)	FB : back focus (FB)	15.0000	15.0000	15.0000	
(4)	AMAG : ang. magnification	-16.0000	-11.3133	-8.0000	
(5)	PP1 : PP1	-5766.0110	-2919.5493	-1667.9728	
(6)	PP2 : PP2	255.0000	184.7000	135.0000	
(7)	LWID : lens width	314.5859	314.5859	314.5859	
(8)	LTRK : lens track	314.5859	314.5859	314.5859	
(9)	TTKD : total track+def.	314.5859	314.5859	314.5859	

	1000/F	F	PP1	PP2	SUM-D	kappa	kappa'	tau	F1	F2
(1- 5)	5.00000	200.0000	1.2866	-106.3015	138.0000	0.0064	-0.5315	0.6900	-198.7134	93.6985
(6- 7)	-20.06667	-49.8339	0.3322	-0.3322	1.0000	-0.0067	0.0067	-0.0201	50.1661	-50.1661
(8-10)	21.06586	47.4702	4.8404	0.4015	8.0000	0.1020	0.0085	0.1685	-42.6297	47.8717
(11-14)	53.54542	18.6757	30.7038	-8.9978	28.0000	1.6441	-0.4818	1.4993	12.0281	9.6779

IRIS= 1 HHP5= 1.2500 KFISH= 0 NAINP= 0 KHADJY= 0

INF1= 7 INF2= 14 INF41= 0 INF42= 0

..... zoom position No. = 1, F= -240.0000, objective distance= -0.1000D+23 KBTRA= 1 KCTRA= 0

OBJD= -0.10000000D+23 SAU= 15.0048 SAL= 0.0000 QNTP= 0.0000 def.= 0.0000
 NZMEQ= 1 FNO(using ray)= 0.000 ; N.A.(object side)= 0.00000 N.A.(image side)= 0.00000
 chief-Y : Y-value on pupil plane of a ray which passes center of real pupil

KAFCL= 2 FIDEAL= 15.000000 angular mag.= -16.0000

(I~ 7)= objective F= 400.3137 Fb= 49.5798
 maximum intermediate image Y= 9.9897

IHI	LSL	LSU	RSO	VT	SO	deg.	Y'	deg.	HHL	HHU	SAG.M.	chief-Y
1	1	1	1.00	1.00	-0.0248	(1.4)	-6.4849	(28.0)	-15.0268	14.9853	15.0048	0.0000
2	1	1	0.70	1.00	-0.0174	(1.0)	-4.3492	(21.3)	-15.0195	14.9902	15.0048	0.0000

..... zoom position No. = 2, F= -169.7000, objective distance= -0.1000D+23 KBTRA= 1 KCTRA= 0

OBJD= -0.10000000D+23 SAU= 15.0048 SAL= 0.0000 QNTP= 0.0000 def.= 0.0000
 NZMEQ= 1 FNO(using ray)= 0.000 ; N.A.(object side)= 0.00000 N.A.(image side)= 0.00000
 chief-Y : Y-value on pupil plane of a ray which passes center of real pupil

KAFCL= 2 FIDEAL= 15.000000 angular mag.= -11.3133

(I~ 7)= objective F= 335.2270 Fb= 33.3622
 maximum intermediate image Y= 10.0005

IHI	LSL	LSU	RSO	VT	SO	deg.	Y'	deg.	HHL	HHU	SAG.M.	chief-Y
1	1	1	1.00	1.00	-0.0296	(1.7)	-5.2803	(23.0)	-15.0293	14.9804	15.0048	0.0000
2	1	1	0.70	1.00	-0.0208	(1.2)	-3.6114	(17.7)	-15.0219	14.9877	15.0048	0.0000

..... zoom position No.= 3, F= -120.0000, objective distance=-0.1000D+23 KBTRA= 1 KCTRA= 0

OBJD= -0.10000000D+23 SAU= 15.0048 SAL= 0.0000 QNTP= 0.0000 def.= 0.0000
 NZMEQ= 1 FNO(using ray)= 0.000 ; N.A.(object side)= 0.00000 N.A.(image side)= 0.00000
 chief-Y : Y-value on pupil plane of a ray which passes center of real pupil

KAFCL= 2 FIDEAL= 15.000000 angular mag.= -8.0000

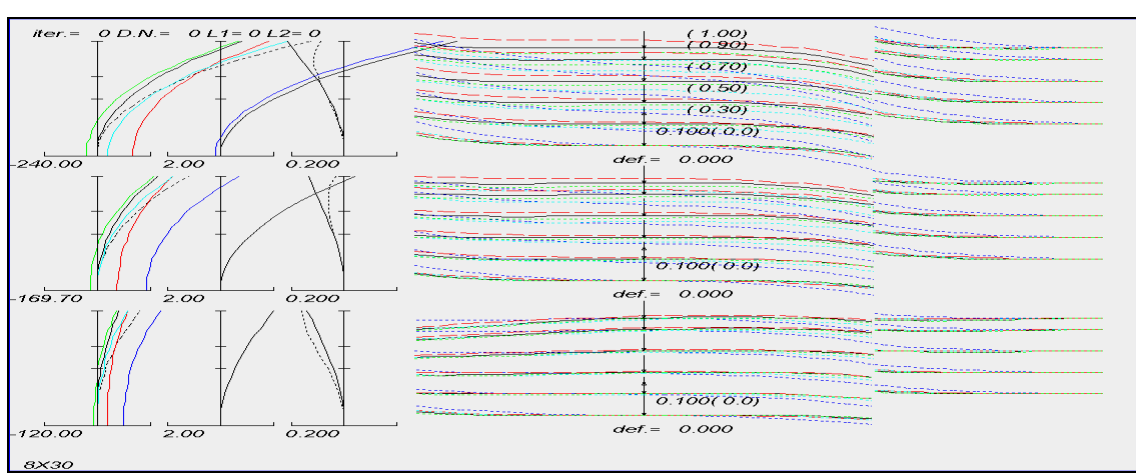
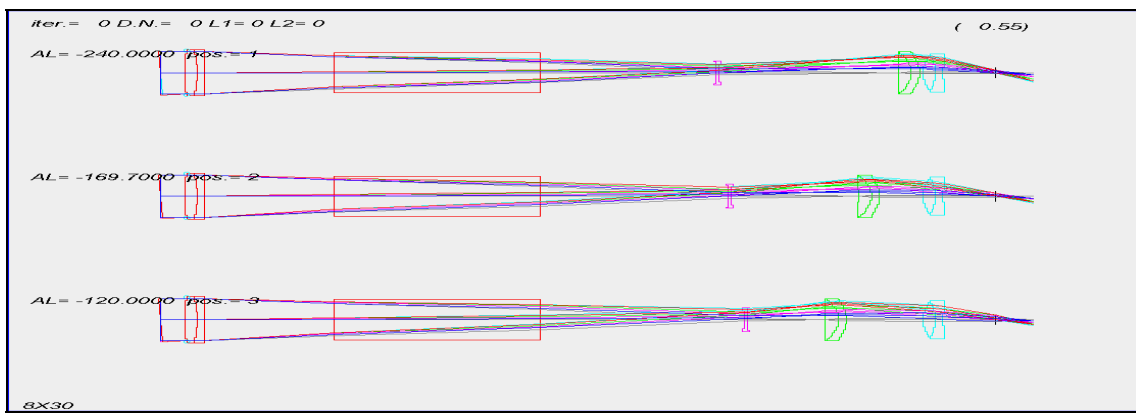
(1~ 7)= objective F= 279.2574 Fb= 19.4163
 maximum intermediate image Y= 10.0166

IHI	LSL	LSU	RSO	VT	SO	deg.	Y'	deg.	HHL	HHU	SAG.M.	chief-Y
1	1	1	1.00	1.00	-0.0356	(2.0)	-4.3615	(22.3)	-15.0341	14.9755	15.0048	0.0000
2	1	1	0.70	1.00	-0.0250	(1.4)	-3.0317	(17.1)	-15.0268	14.9853	15.0048	0.0000
3	1	1	0.50	1.00	-0.0178	(1.0)	-2.1498	(12.7)	-15.0195	14.9902	15.0048	0.0000

* cam behavior (defocus is counted) [DLS : K1=35, K2=cam no., K3=00]
 posi. defocus NZMEQ surf- 1 surf- 6 surf- 8 surf-11 surf-
 (1) 0.0000 ' 1 ' 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000
 (2) 0.0000 ' 1 ' 0.0000 4.8340 -15.5425 0.0000
 (3) 0.0000 ' 1 ' 0.0000 10.7929 -28.2878 0.0000

* behta behavior (by each group)
 posi. (1- 5) (6- 7) (8-10) (11-14) (
 (1) 0.0000 2.0016 2.1038 -0.2850
 (2) 0.0000 1.6761 1.7764 -0.2850
 (3) 0.0000 1.3963 1.5079 -0.2850

であり、その断面図と収差図は



であり、card image data は 8~16×30.DLS として登録してある。出力 data の最後の部分から g_3 が倍率が 2.0→1.39 へ変化しながら 10.79mm 右へ移動し、 g_4 が 2.1→1.5 へ変化しながら左へ 28.28mm 移動しているが、収差自体は余り悪化していないことが判る。これ以後は zoom 方程式を使った DLS の問題となる。

§ 5-15 視度調整付接眼レンズの設計

双眼鏡の設計で視度調整がなければ § 5-11-8 の形式で十分であるが、視度調整を付けるとその像点は例えば -1000, -500, 1000 の如くなり、接眼自体としては拡大系として働くような場合の設計は、通常逆方向で設計されるが、主レンズを付けた状態で評価したい場合などはどうしても順方向での評価が必要となる。大部分の拡大系の場合その物体面上での解像度が指定され、像面上の解像度はそれに倍率を乗じた値で補助的に取扱われるのが常である。このような場合一旦通常の像面上での収差を計算し、その収差を適当な数値(この値に倍率を用いれば物体面上での値に対応する)で割って取扱うのが本節のテーマであり、この parameter は UNITIM(unit in image space)と名付けられている。

まず program の test として TEST_DAT 中の [SIMPLE. CRD] を用いて、物体距離-535.444、最大物体高-200.0、 $h_1=h_7=6.0$ を固定絞りとするれば 1/10 倍の結像となり、その最良像面上 (MTFBST=1) の収差と OTF は

	D	s. c.	G	C	F	E						
(1.00)	-0.2843	-0.1767	-0.2566	-0.2074	-0.3395	-0.3225						
(0.90)	-0.2702	-0.1881	-0.2847	-0.1854	-0.3470	-0.3152						
(0.80)	-0.2387	-0.1772	-0.2877	-0.1475	-0.3332	-0.2894						
(0.70)	-0.1983	-0.1534	-0.2755	-0.1017	-0.3072	-0.2536						
(0.60)	-0.1548	-0.1231	-0.2550	-0.0539	-0.2756	-0.2138						
(0.50)	-0.1125	-0.0912	-0.2312	-0.0081	-0.2428	-0.1746						
(0.40)	-0.0745	-0.0612	-0.2077	0.0327	-0.2122	-0.1389						
(0.30)	-0.0429	-0.0356	-0.1871	0.0663	-0.1863	-0.1092						
(0.20)	-0.0194	-0.0162	-0.1712	0.0913	-0.1667	-0.0869						
(0.10)	-0.0049	-0.0041	-0.1612	0.1067	-0.1546	-0.0732						
(0.00)	0.0000	0.0000	-0.1577	0.1118	-0.1504	-0.0685						
	RSO	dist.	D-sag.	D-mer.	G-sag.	G-mer.	C-sag.	C-mer.	F-sag.	F-mer.	E-sag.	E-mer.
(1.00)	0.2292	-0.2048	-0.3983	-0.3764	-0.9422	-0.0887	-0.2002	-0.3635	-0.7579	-0.2763	-0.5368	
(0.70)	0.1041	-0.2430	-0.0237	-0.4046	-0.3000	-0.1298	0.1161	-0.3958	-0.2395	-0.3124	-0.1144	
(0.50)	0.0501	-0.1552	0.0081	-0.3140	-0.1957	-0.0430	0.1313	-0.3064	-0.1681	-0.2240	-0.0692	
(0.00)	0.0000	0.0000	0.0000	-0.1577	-0.1577	0.1118	0.1118	-0.1504	-0.1504	-0.0685	-0.0685	
[K3 --> 1~9:mer.-y, 10~13:sag.-z, 14:dS, 15:dM, 16:dist., 17~25:45-y, 26~29:sag.-y, 30~38:45-z]												
used def. = -0.2775												
(0.00)												

```

D 0.0008 -0.0049 -0.0092 -0.0069          0.0069 0.0092 0.0049 -0.0008 sg-z 0.0008 -0.0049 -0.0092 -0.0069
G -0.0024 0.0005 -0.0026 -0.0028 0.0000 0.0028 0.0026 -0.0005 0.0024 -0.0024 0.0005 -0.0026 -0.0028
C -0.0079 -0.0128 -0.0151 -0.0100 0.0000 0.0100 0.0151 0.0128 0.0079 -0.0079 -0.0128 -0.0151 -0.0100
F 0.0070 0.0037 -0.0020 -0.0029 0.0000 0.0029 0.0020 -0.0037 -0.0070 0.0070 0.0037 -0.0020 -0.0029
E 0.0051 -0.0004 -0.0058 -0.0051 0.0000 0.0051 0.0058 0.0004 -0.0051 0.0051 -0.0004 -0.0058 -0.0051

( 1.00)
D 0.0077 0.0059 0.0038 0.0017          -0.0009 -0.0003 0.0024 0.0084 sg-z -0.0119 -0.0050 -0.0029 -0.0016
45-y 0.0055 0.0045 0.0030 0.0014 0.0000 -0.0008 -0.0003 0.0023 0.0084 sg-y 0.0061 0.0019 0.0004 0.0000
45-z -0.0033 -0.0024 -0.0015 -0.0007 0.0000 0.0008 0.0018 0.0034 0.0063 -0.0063 0.0027 0.0037 0.0022
G 0.0231 0.0143 0.0053 -0.0035 -0.0117 -0.0188 -0.0241 -0.0268 -0.0258 -0.0205 -0.0122 -0.0080 -0.0042
C 0.0021 0.0028 0.0031 0.0034 0.0040 0.0053 0.0080 0.0129 0.0208 -0.0026 0.0038 0.0037 0.0020
F 0.0179 0.0116 0.0049 -0.0016 -0.0075 -0.0125 -0.0159 -0.0168 -0.0143 -0.0070 -0.0008 0.0001 0.0000
E 0.0116 0.0081 0.0043 0.0005 -0.0028 -0.0053 -0.0063 -0.0049 -0.0003

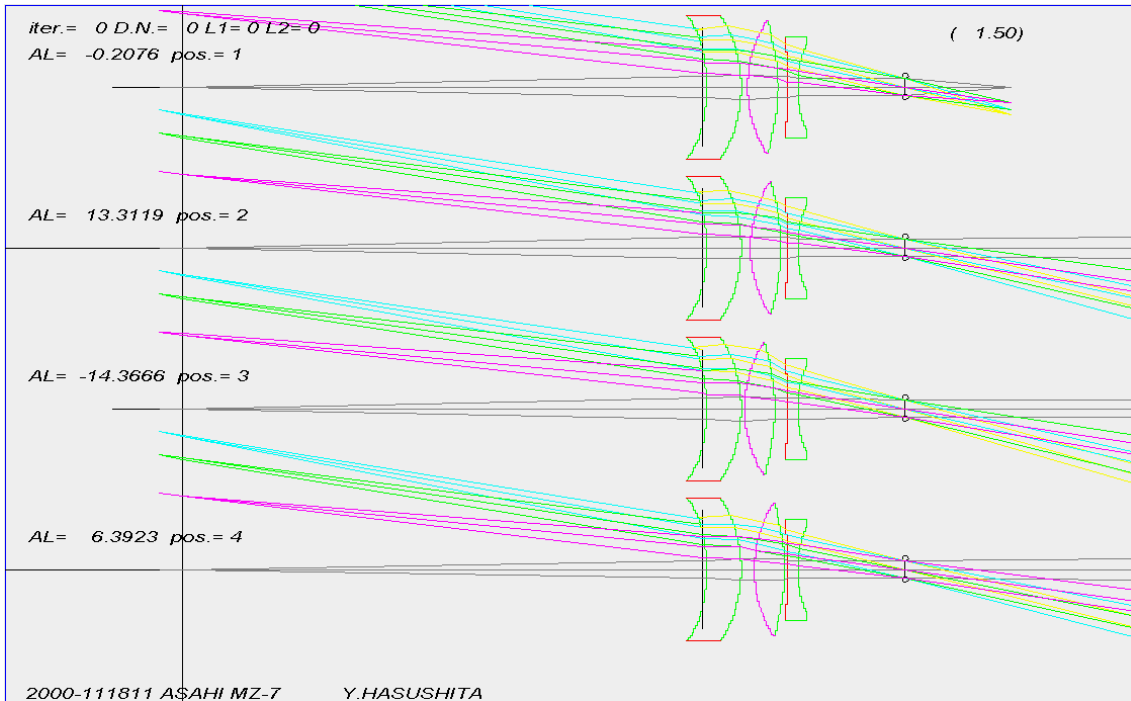
```

geometrical M.T.F. by simple method with def. = -0.2775 JIKUSU= 5 LGAUSS=24 KHONSU= 9

	axis	1.00		0.70		0.50	
		sag.	mer.	sag.	mer.	sag.	mer.
10.000	0.977	0.984	0.859	0.935	0.840	0.938	0.817
20.000	0.912	0.941	0.568	0.776	0.575	0.785	0.535
30.000	0.818	0.879	0.368	0.599	0.453	0.614	0.408
40.000	0.709	0.808	0.291	0.468	0.389	0.483	0.303
50.000	0.600	0.734	0.227	0.397	0.331	0.406	0.216
VARIANCE=	0.17982	0.24209		0.39660		0.44975	
RADIUS=	0.00449	0.00851		0.01117		0.01177	
L. SPRD	0.003	0.003	0.008	0.006	0.009	0.006	0.010

となる。次に **LCARD** → **PREVCH** によって data を逆向きにして、物体距離=-47.6490、物体高=-20.0860、OTUL=5.0、OTBEST=4.0 とすれば、縦収差 best defocus はほぼ 100 倍、OTF は 1/10 の周波数に対して値が等しいことが計算出来るが、固定焦点レンズならばまだしも、前節のように zoom lens となって各 position で倍率が異なる場合には処置が難しい。そこで前述の如く、各 position 毎に収差と OTF 周波数を UNITIM で与えられる数値で割ることにする。ここでは **ZOOM_CNT-Tab4** の中の UNITIM に 10.0 を入れ (OTUL, OTBEST は 50.0, 40.0 に戻す)、**LENS** 計算を前回と同様に行えば、ほぼ前掲の資料と同じ data が得られる。内部計算では縦収差 (球面収差、非点収差) は UNITIM の自乗で割り、横収差と周波数は UNITIM で割られている。TEST_DATA 中では最初の data は UNIT_00. CRD 次の data は UNIT_00_REVERSE として登録されている。

次に EYE_PIECE_ASAHI として登録された data について説明する断面図は



であるが、KMODE=2, KFBY=1, NFGDRW=4, SCALE=1.5 として描いたものである。この data の作り方はまず RDN を入力した後で g_2 を移動させることにより Fb を一定の値にするために INF1=4, INF2=6 とし、各 position で NZMEQ=3 とする。その後で **MINUTE** → **ZOOM_CNT** と進み、以下の如く各ポジションのデータを変更する。

	(1)	(2)	(3)	(4)
NZMEQ	3	3	3	3
KAFCL	2	0	0	0
SAU	4.9375	4.9375	5.3219	4.7406
FB	15.0	-1000.	1000.	-500.
OBJD	-35.0	-35.0	-35.0	-35.0
UNITIM	0.2	13.3174	14.8232	6.3954

1 行目は NZMEQ で 2 行目は第 1 zoom position のみ理想レンズ付 afocal 系で残りの position は物体、像共に有限として取扱うよう指示している。次に 4 行に於いて g_2 を移動して得るべき Fb の値がそれぞれ 15.0, -1000, 1000, 500.0 として指示されている。6 行目の UNITIM がこの節で説明した像収差の scaling 係数である。第 1 position の 0.2 は $g_1 \sim g_3$ の焦点距離と理想レンズの焦点距離 (FIDEAL=15.0) の比に対応している。さらに参考までにこの data を逆向きに追跡した data が EYE_PIECE_ASAHI_REVERSE として登録してある。