

06 NIOBE-G コード使用説明

竹 内 清*

User's Manual for the 06 NIOBE-G Code

By

Kiyoshi Takeuchi

The 06 NIOBE-G code for the numerical integration of the time-independent gamma ray Boltzmann transport equation in a spherically symmetric geometry, originally written with the name of NIOBE for the IBM-704, has been revised for the NEAC 2206.

The NEAC 2206 is a medium speed computer and the present capacity of the memory in the Ship Research Institute is 4K by core, 10K by drum and no magnetic tape unit.

This code is divided into three runs. The first run of the code calculates the spatial independent part of the scattering integral, and it takes about 10~15 seconds of execution time. The second run is the calculation of the parameters to be used in the final run. The final run is the iteration process to solve the Boltzmann difference equation and about 3 minutes is required for one iteration of a problem having 14 angular meshes and 10 radial mesh points.

The limitation on some of the inputs are as follows;

Number of energy groups ≤ 10

Number of material regions ≤ 5

Number of radial meshes ≤ 50

Number of angular meshes ≤ 14

The output will be obtained as angular distributions, total fluxes, and currents for photons as a function of compton wavelength at each mesh points.

1. ま え が き

定常状態の球対称形状に対する Boltzmann 輸送方程式を数値積分で解いて中性子束, ガンマ線束を求める方法に NIOBE¹⁾がある。これは最初 IBM 704 用に作られたコードの名称である。つづいて IBM 7090 用に 9 NIOBE²⁾が作られている。ここに述べる 06 NIOBE-G は NEAC 2206 計算機用に作られたガンマ線計算用コードである。06 NIOBE-G には G1, G2 の2つのコードができていて。その違いは式の計算過程における補間法と半径方向メッシュ数の最大制限にある。以下にこれら両コードのインプットデータの作り方, コードの使用法, 計算結果の出し方について述

* 原子力船部

べる。末尾に本コードのフローチャートを載せておく。なお理論式の取扱い, 試計算の結果等は文献 3) を参照されたい。

2. 計 算 式

Boltzmann 輸送方程式を計算機で解く場合, そのままの形では計算機に不相当であるから, これを計算機に適した形に変える必要がある。次式はその最終式であり, この式をコード化したのが本コードである。この式の求め方は文献 3) に述べられている。

$$\begin{aligned}
 I^{(n+1)}(p_{iq}, u_j) = & \chi \{ e^{-\Sigma T^a} I^{(n+1)}(p_{iq}', u_j) \\
 & + (C_0 - C_1) R [I^{(n)}; p_{iq}', u_j] \\
 & + C_1 R [I^{(n)}; p_{iq}, u_j] \\
 & + (1 - \chi) I^{(n)}(p_{iq}, u_j)
 \end{aligned}$$

ここで $I^{(n)}(\gamma_i, \omega_q, u_j)$ は n 番目の iteration での $I(\gamma_i, \omega_q, u_j)$ の値である。なお $I(\gamma_i, \omega_q, u_j)$ は座標 γ_i で Compton 波長 u_j をもつガンマ線のエネルギーと個数との積の ω_q 方向の成分である。 ω_q は半径方向ベクトルから測ったガンマ線方向角の余弦である。

収斂判定は

$$\text{Max}_{\gamma_i, \omega_q} \left| \frac{I^{(n)}(\gamma_i, \omega_q, u_j) - I^{(n+1)}(\gamma_i, \omega_q, u_j)}{I^{(n)}(\gamma_i, \omega_q, u_j)} \right| \leq \epsilon$$

による。

3. 06 NIOBE-G のインプット

本コードのインプットは文字と数字とから成る。数は固定小数点方式*と浮動小数点方式*の両方式を使用する。データは紙テープにパンチされる。インプットは G1, G2 両コードに共通である。インプットデータは次の順序でデータテープにパンチされる。

- | | |
|--|--------------------|
| (1) Problem Number | 6 文字 |
| (2) E_{\max} MeV | 8 桁 (fl)** |
| 入力最大エネルギー | |
| (3) J | 2 桁 (fix)*** |
| エネルギーステップ数= $J+1$ | |
| G1 コード | $1 \leq J \leq 20$ |
| G2 コード | $1 \leq J \leq 9$ |
| (4) N $3 \leq N \leq 8$ | 1 桁 (fix) |
| エネルギーステップ幅 $h=2/N$ | |
| (5) I $1 \leq I \leq 5$ | 1 桁 (fix) |
| 物質領域の層数 | |
| (6) Q $2 \leq Q \leq 7$ | 1 桁 (fix) |
| 方向角メッシュの数= $2Q$ | |
| (7) \bar{Q} $2 \leq \bar{Q} \leq 2Q$ | 2 桁 (fix) |
| 角度内挿の展開項数 | |
| (8) L $1 \leq L \leq 12$ | 2 桁 (fix) |
| ガンマ線束の Legendre 展開の項数= $L+1$ | |

* NEAC 2206 計算機の固定小数点*** 方式と浮動小数点**方式は次の通りである。

固定小数点方式 数は整数としてあつかい、本コードでは小数点は左端にあるものとする。

浮動小数点方式 最初の 2 桁が指数部をあらわし、指数+51 として使用される。3 桁以下の数は仮数をあらわす。

例 43.530 → 524353000000

(9) χ 8 桁 (fl)
Over relaxation factor

(10) ϵ 8 桁 (fl)
収斂判定の条件

(11) N_i $i=1, 2, \dots, I$ 2 桁 (fix)
各領域の半径方向メッシュ数

$$\text{G1 コード } \sum_{i=1}^I N_i \leq 25$$

$$\text{G2 コード } \sum_{i=1}^I N_i \leq 50$$

(12) C_i $i=1, 2, \dots, I$ 8 桁 (fl)
各領域の電子密度 ($\times 10^{24}$)

(13) R_i cm $i=1, 2, \dots, I$ 8 桁 (fl)
各領域の外半径

(14) Σ_T cm⁻¹ 8 桁 (fl)
巨視的全断面積

$$j=0 \quad i=1, 2, \dots, I$$

$$j=1 \quad i=1, 2, \dots, I$$

$$\dots\dots\dots$$

$$j=J \quad i=1, 2, \dots, I$$

(15) Source

Source OP-1; 線源項が次の様に積の形で表わされる。

$$G(\gamma_s, \omega_q, u_j) = V(\gamma_s)W(\omega_q)G(u_j)$$

$$G(u_j) \quad j=0, 1, 2, \dots, J \quad 8 \text{ 桁 (fl)}$$

$$W(\omega_q) \quad q=1, 2, \dots, 2Q \quad 8 \text{ 桁 (fl)}$$

$$V(\gamma_s) \quad s=1, 2, \dots, \sum_{i=1}^I N_i + I - 1 \quad 8 \text{ 桁 (fl)}$$

各領域の境界では 2 個の $V(\gamma_s)$ を与える。

Source OP-2; 線源項 $G(\gamma_s, \omega_q, u_j)$ が各 $(\gamma_s, \omega_q, u_j)$ の点に対して任意に与えられる場合。インプットテープと別に線源データテープを作る。

$$G(\gamma_s, \omega_q, u_j) \quad 8 \text{ 桁 (fl)}$$

$$j=J \quad q=2Q \quad s=\sum_{i=1}^I n_i + I - 1, \dots, 1$$

$$q=2Q-1 \quad s=\sum_{i=1}^I n_i + I - 1, \dots, 1$$

$$\dots\dots\dots$$

$$q=1 \quad s=\sum_{i=1}^I n_i + I - 1, \dots, 1$$

$$j=J-1 \quad q=2Q \quad s=\sum_{i=1}^I n_i + I - 1, \dots, 1$$

$$\dots\dots\dots$$

$$j=0 \quad \text{同上}$$

この線源データテープは RUN 1 では読み込まず

```

TEST 1 51500000 02 5 2 7 14 12
51100000 48100000
02 10
00000000 00000000

51100000 51600000

51138000 51138000
50760000 50760000
51250000 51250000

00000000 00000000 51100000
51100000 51100000 51100000 51100000 51100000 51100000 51100000
51100000 51100000 51100000 51100000 51100000 51100000 51100000
52357500 52350000 52350000 52337500 52320000 52297500 52270000
52237500 52200000 52157500 52110000 51575000 00000000

00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000 00000000
END

```

図 1 Input Data の例

- に RUN 3 で読み込めます。
- (6) $I(A, \omega_q, u_j)$ 8桁(8)
境界 $\gamma=A$ $\omega_q < 0$ での境界条件
 $j=0$ $q=1, 2, \dots, Q$
 $j=1$ $q=1, 2, \dots, Q$
.....
 $j=J$ $q=1, 2, \dots, Q$
- (7) END 3文字
インプットデータの最後にチェックのため END
とパンチする。

図 1 にインプットデータの例を示す。順に説明すると、

TEST 1 は Problem Number,
 $E_{\max}=5$ MeV, $J=2$, $N=5$, $I=2$, $Q=7$, $\bar{Q}=14$, $L=12$, $\chi=1$, $\epsilon=0.001$, $N_1=2$, $N_2=10$,
 $C_1=0$, $C_2=0$, $R_1=1.0$ cm, $R_2=6.0$ cm,

巨視的全断面積 Σ_T は、1 領域、2 領域とも同じで $J=0$ 1.38,

$J=1$ 0.76,

$J=2$ 2.5,

線源は $G(u_j)$ について $G(u_0)=G(u_1)=0$,

$G(u_2)=1$,

$W(\omega_q)$ について、等方線源とし $q=1, 2$,

$\dots, 2Q$ 全部に関し $W(\omega_q)=1, V(\gamma_s)$ に

ついて、 $s=1, 2, \dots, s=\sum_{i=1}^J N_i+2-1=13$

まで順に 35.75, 35.0, \dots , 5.75, 0 である。領域の境界である $s=2$ と 3 では同じ値が与えられている。

境界条件 $I(A, \omega_q, u_j)$ は u_j の $j=0, 1, 2$ での各 ω_q の $q=1, 2, \dots, Q$ について $I(A, \omega_q, u_j)=0$ である。

4. 06 NIOBE-G コードの操作

本コードが作られた NEAC 2206 計算機の容量は次の通りである。

磁気コア 4,000 語
磁気ドラム 10,000 語
磁気テープ なし

以上の様に計算機の現有のシステムは規模が小さいので本コードは 3 つの RUN に分けられた。

4.1 06 NIOBE-G1 コード

06 NIOBE-G1 コードは 3 本のプログラムテープ、RUN 1, RUN 2, RUN 3 のテープから成立している。

4.1.1 RUN-1 の操作

RUN 1 テープを読み込む。

インプットデータテープを光電式テープ読取機 1 にセットする。

操作電鍵盤のクロックをリセットする。

Source OP-2 の場合 Jump Switch No. 5 を ON にする。Source OP-1 の場合そのままよい。

SCC 1500 より start

$J \geq 17$ の場合は高速テープさん孔機を予め start させて置く。

$J \leq 16$ の場合はその必要がない。

インプットテープを読み込むとそのままプリンターに印字する。Jump Switch を操作することによってこの

06 NICBE-G TEST 1

E	J	N	I	Q	Q	L	X	E
51500000	02	5	2	7	14	12	51100000	48100000

N	ZC
2	10
00000000	00000000
R	
51100000	51600000

CRS	
51138000	51138000
50760000	50760000
51250000	51250000

S								
00000000	00000000	51100000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	51100000	51100000	51100000	51100000
51100000	51100000	51100000	51100000	51100000	51100000	51100000	51100000	51100000
51100000	51100000	51100000	52357500	52357500	52350000	52350000	52337500	52320000
52297500	52270000	52237500	52200000	52157500	52110000	51575000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000

I							
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000
00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000	00000000

INPUT-END

図 2 Input の Print 例

印字を制限することができる。

Jump Switch No. 3 ON

$\sum x$, Source, $I(A, \omega_q, u_j)$ を印字しない。

Jump Switch No. 2 ON

N_i , C_i , R_i , $\sum x$, Source, $I(A, \omega_q, u_j)$ を印字しない。

Jump Switch No. 1 ON

Problem Number のみを印字する。

最後に INPUT-END と印字する。

図 2 にインプットデータの印字例を示す。

$J \leq 16$ の場合はそのまま start すると計算が行われ終了後 RUN 1 END と印字する。

$J \geq 17$ の場合はそのまま start すると計算が行なわれ高速さん孔機からパンチされたテープが得られる。RUN 1 END が印字されるまで繰返して start させる。

4.1.2 RUN-2 の操作

RUN 2 テープを読込ませる。

SCC 2,000 より start

RUN 2 END と印字して終了。

4.1.3 RUN-3 の操作

RUN 3 テープを読込ませる。

Source OP-2 の場合, Jump Switch No. 5 を ON

(200)

にして線源データテープをテープ読取機に 1 セットしておく。

$J \leq 16$ の場合 SCC 2,300 より start

RUN 3 END が印字され計算が終了する。

$J \geq 17$ の場合

SCC 2,300 より start すると TAPE REQUEST と印字して計算機は計算を中止する。RUN 1 で高速さん孔機より得られたデータテープをテープ読取機 1 にセットして start する。この操作は RUN 3 END が印字されるまで繰返して行う。

4.1.4 計算結果の印字とさん孔

“Print & Punch テープ” を読込む。

total flux $I_0(\gamma_s, u_j)$, current $I_1(\gamma_s, u_j)$ はプリンターにて印字される。angular flux $I(\gamma_s, \omega_q, u_j)$ は高速さん孔機にて紙テープにパンチされる。初めに“プリントテープ”が読込まれ SCC 2,300 を示して止る。SCC 2,300 より start。Key Board に赤ランプがつく。年月日をそれぞれ 2 桁ずつ Key Board より入れる。例えば 1963 年 5 月 18 日であれば, 63 05 18 を入れる。ただちに total flux $I_0(\gamma_s, u_j)$, current $I_1(\gamma_s, u_j)$ がプリンターにて印字される。引き続き“パンチテープ”を読込む。SCC 2,300 より start。Key Board に赤ランプがつく。年月日を前と同様に入れる。an-

NIOBE-G 63 5 18

TEST I
E 51500000

I(R, W, U)

UJ#02

RS/WQ	-509862838086	-509284348836	-508272013150	-506872929048	-505152486363
13	00000000000	00000000000	00000000000	00000000000	00000000000
12	509962925930	511030523710	511102607330	511209105380	511370170120
11	512840027970	512907163530	513025184540	513203005560	513426751240
10	514780324460	514856287450	514982572480	515168218210	515389955830
9	516604711180	516677760610	516796264060	516967956630	517169584000
8	518253030390	518318743550	518424054090	518575468920	518752510610
7	519708861090	519764144700	519856473360	519984318670	521013644780
6	521096518920	521101318300	521108760530	521119548810	521132067920
5	521202232660	521206193910	521212046250	521220556930	521230564500
4	521287971520	521291049240	521295388590	521301614310	521309088660
3	521353797470	521355803090	521358789070	521362797150	521367656800
2	521353797470	521355803090	521358789070	521362797150	521367656800
1	521399628220	521400595650	521402125240	521404104890	521406458170

RS/WQ	-503191123689	-501080549487	501080549487	503191123689	505152486363
13	00000000000	00000000000	00000000000	503814079830	507832624570
12	511579687330	511814031230	512275105830	512643309940	512998758200
11	513686996930	513933007390	514368658580	514704624530	515013073710
10	515634782550	515859391960	516261258170	516565232390	516824884940
9	517337886710	517587187170	517952444580	518225048220	518430554910
8	518942284600	519115896110	519442028470	519683985190	519789843420
7	521029770390	521044557650	521072991780	521094194410	521112776710
6	521145322990	521157629650	521181614050	521199877050	521215193510
5	521241036290	521250844790	521270104450	521285423290	521297523160
4	521316875580	521324235910	521338543350	521350789410	521359795750
3	521372842420	521377830060	521387084040	521395903900	521402034370
2	521372842420	521377830060	521387084040	521395903900	521402034370
1	521409033200	521411624900	521415974740	521420558070	521423507430

RS/WQ	506872929048	508272013150	509284348836	509862838086
13	511152429860	511433786010	511636226370	511748227250
12	513341027980	513601407720	513787445210	513890502800
11	515329005680	515569091690	515738515840	515832860470
10	517115667540	517337029450	517489325240	517575360860
9	518697225640	518908700140	519037450100	519119495730
8	521010094730	521026921200	521039334860	521045864140
7	521128955030	521143571720	521154458830	521160065570
6	521227675190	521240089000	521249703660	521254179260
5	521305464790	521317488470	521324470310	521328585870
4	521367986560	521374018470	521379768050	521382561360
3	521407202300	521411809830	521414538690	521416107580
2	521407202300	521411809830	521414538690	521416107580
1	521425354850	521426475560	521427113460	521427419950

N-1#468775200000

N-2#488165965000

図3 計算結果例

gular flux $I(\gamma_s, \omega_q, u_j)$ が高速さん孔機にて紙テープにパンチされる。

図3に計算結果の1例としての angular flux $I(\gamma_s, \omega_q, u_j)$ の $u_j = u_2$ の場合を示す。ここで、 $I(R, W, U)$ は $I(\gamma_s, \omega_q, u_j)$ を、UJ#02 は u_j の $j=2$ を、RS は半径方向メッシュ番号を、WQ は ω_q を、N-1, N-2 は相対誤差、絶対誤差の和をそれぞれ意味する。

$$N_1 = \left| 1 - \frac{I^{(n+1)}(\gamma_s, \omega_q, u_j)}{I^{(n)}(\gamma_s, \omega_q, u_j)} \right|$$

$$N_2 = \sum_{\gamma_s, \omega_q} |I^{(n+1)}(\gamma_s, \omega_q, u_j) - I^{(n)}(\gamma_s, \omega_q, u_j)|$$

4.2 06 NIOBE G2 コード

06 NIOBE-G2 コードは G1 コードの RUN 1 と RUN 2 の部分を1本のプログラムテープに、RUN 3 は G1 と同じで、合計2本のプログラムテープから成っている。操作は RUN 1 と RUN 2 のプログラム

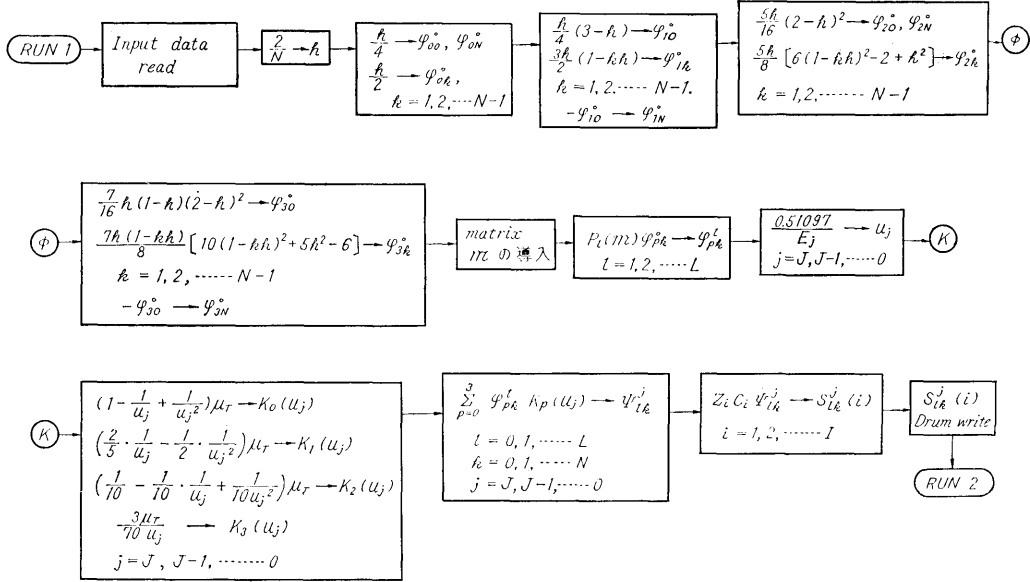
が1本のテープになっている以外は G1 コードと全く同様に操作すればよい。RUN 3 のプログラムは SCC 10 より start 以外は G1 コードと同様に操作すればよい。結果のプリントとパンチは G1 コードと共通の“Print & Punch tape” を使用する。

本コード作製にあたり、終始ご指導を賜った原子力船舶部片岡室長に謝意を表します。

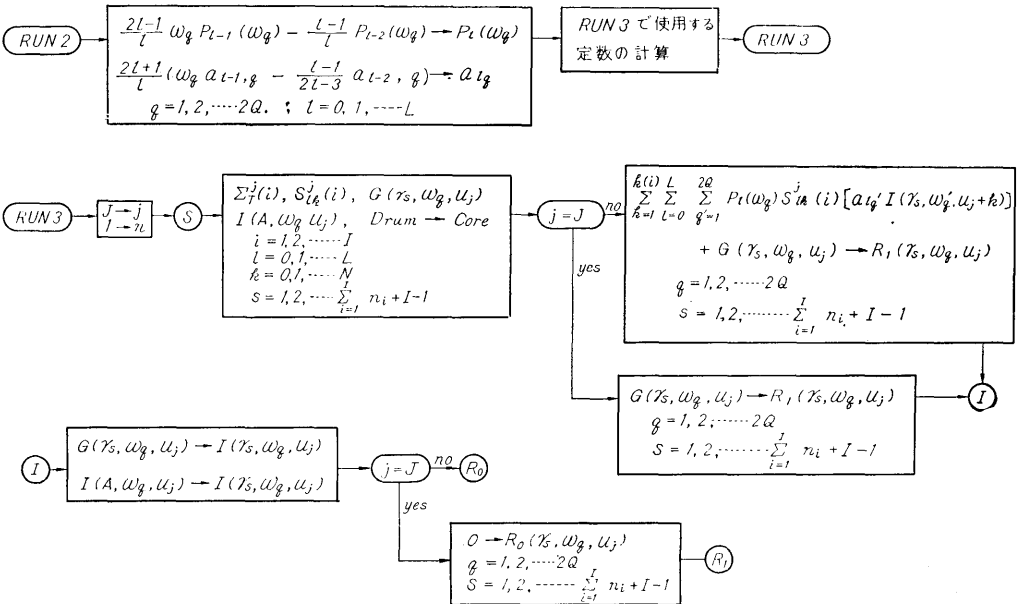
参 考 文 献

- 1) Priser, S., Rabinowitz, G., and de Dufour, E.; ARL-TR-60-314 (1960)
- 2) Yetmann, D., Eisenman, B., and Rabinowitz, G.; NDA 2143-18 (1961)
- 3) 片岡, 竹内; 06 NIOBE-G について, 未刊, 船研報告として発表の予定。

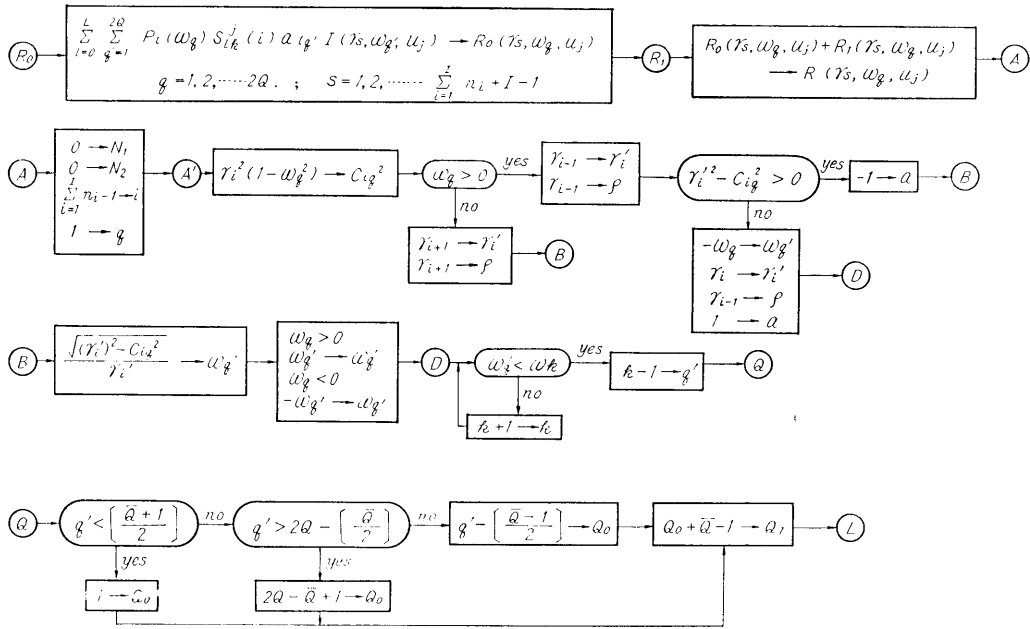
06 NIOBE-G 1 Flow Chart No. 1



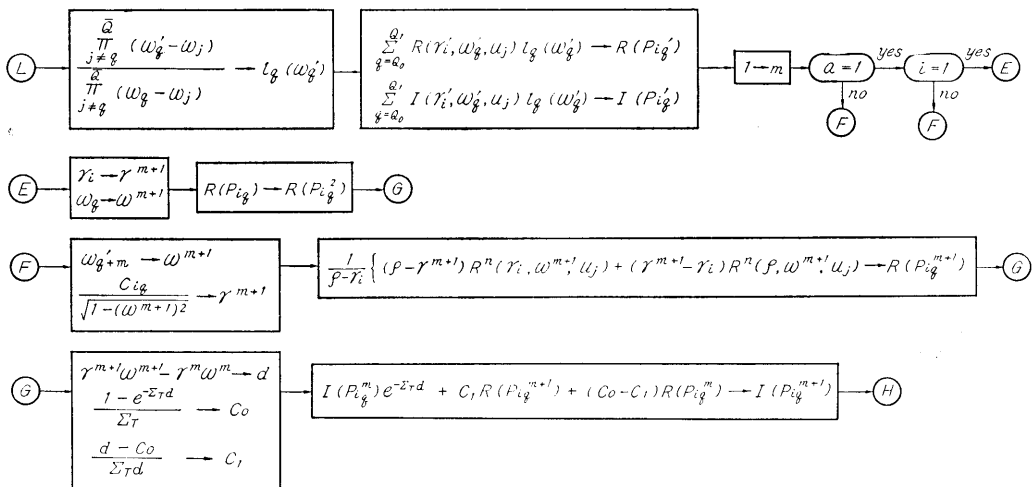
06 NIOBE-G 1 Flow Chart No. 2



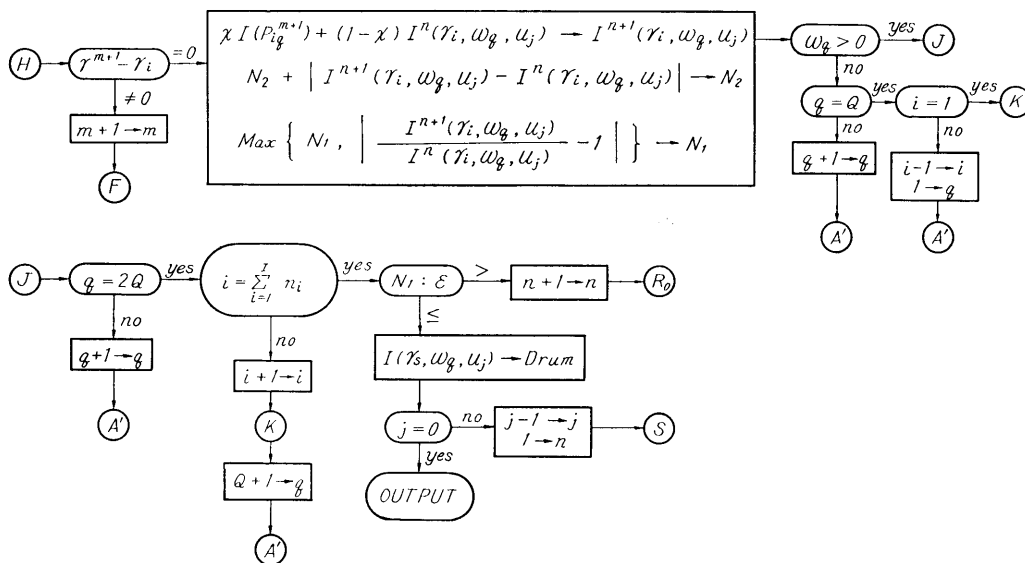
06 NIOBE-G 1 Flow Chart No. 3



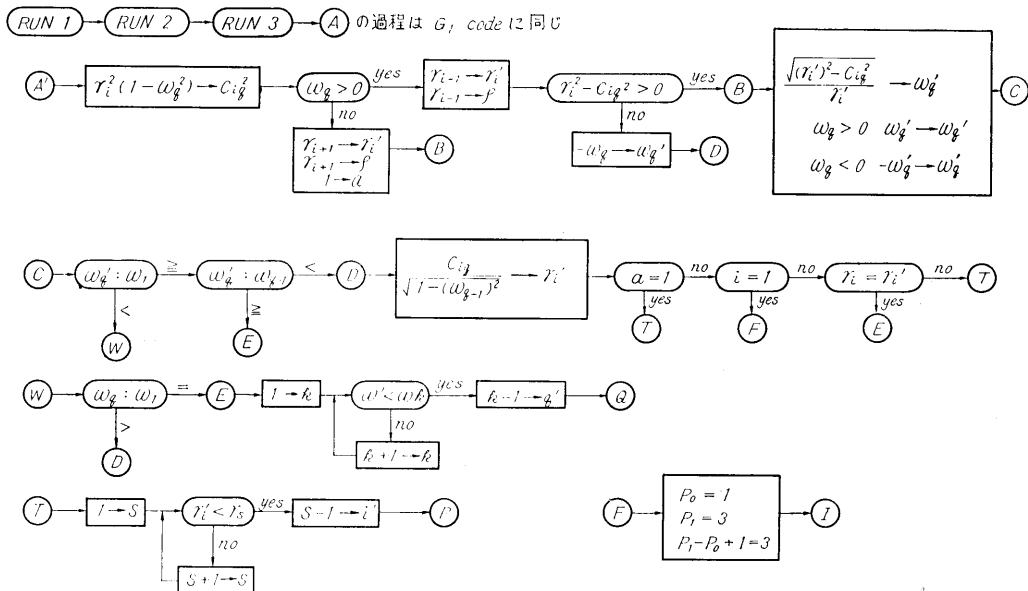
06 NIOBE-G 1 Flow Chart No. 4



06 NIOBE-G 1 Flow Chart No. 5



06 NIOBE-G 2 Flow Chart No. 1



06 NIOBE-G 2 Flow Chart No. 2

