JAERI 1186

JAERI 1186

高出力炉雑音スペクトル密度計算コード NESAP－2

1969 年 10 月

日 本 原 子 力 研 究 所

Japan Atomic Energy Research Institute

日本原子力研究所は，研究成果，調査結果などを JAERI レポートとして，つぎの4種に分けそれぞれの通し番号を付し，不定期に刊行しております．

1.	研究報告	まとまった研究の成果あるいはその一部における重要な結果の報告	JAERI 1001-
2.	調査報告	総説・展望・調査の結果などをまとめたもの	JAERI 4001-
3.	年報	研究・開発その他の活動状況などの報告	JAERI 5001-
4.	資料	施設の概要や手引きなど	JAERI 6001-

このうち既刊分については「JAERI レポート一覧」にタイトル・要旨をまとめて掲載し，また新刊レポートは「研究成果要旨集」(隔月刊)で逐次紹介しています．

これらのリスト・研究報告書の入手および複写・翻訳などのご要求は，日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）に申しこんでください．

Japan Atomic Energy Research Institute publishes the nonperiodical reports with the following classification numbers:

1. JAERI 1001- Research reports
2. JAERI 4001- Survey reports and reviews
3. JAERI 5001- Annual reports
4. JAERI 6001- Manuals etc.

Requests for the above publications, and reproduction and translation should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Insitute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan

編集兼発行　日本原子力研究所
印　　刷　学術図書印刷株式会社

JAERI 1186 正誤表

ページ	誤		正
7	下から10行	対角行列	対称行列
8	(48)式右辺	$2\langle D_2\rangle$	$2\langle D_2\rangle$
9	(60)式下段右辺	$L^{(34)}(L^{(13)}+L^{(23)}/L^{(14)}]$	$L^{(34)}(L^{(13)}+L^{(23)})/L^{(14)}]$
19	# 30	$I_\theta(\omega)$ given by Eq. (88)	$I_\theta(\omega)$ given by Eq. (89)
〃	# 31	$M_\theta^{ij}(\omega)$ given by Eq. (89)	$M_\theta^{ij}(\omega)$ given by Eq. (90)
23	上から5行	田沢邑吉氏	田次邑吉氏
24	文献 10)	宇都呂	宇津呂
〃	文献 12)	RAITO	SAITO
〃	文献 25)	修工論文	修士論文
28	別紙の通り修正の事		
29	別紙の通り修正の事		

NOISE SPECTRA

SQUARE MODULUS OF TRANSFER FUNCTION NORMALIZED AT CPS= 7.95772E-03 WHERE /T/**2= 2.40554E 03

CPS	N-N	EF-EF	EM-EM	T(IW)*T(-IW)	TO(IW)*TO(-IW)
1.59155E-04	1.42565E 00	2.32932E 00	1.50530E-01	1.33848E 00	1.25044E 03
2.38732E-04	1.42506E 00	2.32744E 00	1.51748E-01	1.33796E 00	5.56043E 02
3.18309E-04	1.42422E 00	2.32481E 00	1.53449E-01	1.33724E 00	3.12997E 02
4.77464E-04	1.42186E 00	2.31733E 00	1.58288E-01	1.33518E 00	1.39388E 02
6.36618E-04	1.41857E 00	2.30696E 00	1.64996E-01	1.33231E 00	7.86248E 01
7.95772E-04	1.41439E 00	2.29377E 00	1.73527E-01	1.32868E 00	5.05000E 01
9.54927E-04	1.40936E 00	2.27789E 00	1.83802E-01	1.32430E 00	3.52222E 01
1.11408E-03	1.40352E 00	2.25943E 00	1.95736E-01	1.31923E 00	2.60103E 01
1.27324E-03	1.39690E 00	2.23856E 00	2.09234E-01	1.31348E 00	2.00311E 01
1.43239E-03	1.38957E 00	2.21543E 00	2.24189E-01	1.30713E 00	1.59321E 01
1.59155E-03	1.38158E 00	2.19021E 00	2.40490E-01	1.30021E 00	1.29999E 01
2.38732E-03	1.33374E 00	2.03938E 00	3.37912E-01	1.25903E 00	6.05554E 00
3.18309E-03	1.27809E 00	1.86419E 00	4.50871E-01	1.21172E 00	3.62500E 00
4.77464E-03	1.16610E 00	1.51304E 00	6.76307E-01	1.11952E 00	1.88889E 00
6.36618E-03	1.07200E 00	1.22051E 00	8.62252E-01	1.04769E 00	1.28125E 00
7.95772E-03	1.00000E 00	1.00000E 00	1.00000E 00	1.00000E 00	1.00000E 00
9.54927E-03	9.46120E-01	8.38808E-01	1.09786E 00	9.72736E-01	8.47222E-01
1.11408E-02	9.05343E-01	7.20949E-01	1.16627E 00	9.61203E-01	7.55102E-01
1.27324E-02	8.73650E-01	6.33598E-01	1.21363E 00	9.61607E-01	6.95310E-01
1.43239E-02	8.46193E-01	5.67647E-01	1.24591E 00	9.71208E-01	6.54320E-01
1.59155E-02	8.27023E-01	5.16836E-01	1.26725E 00	9.88078E-01	6.24998E-01
2.38732E-02	7.51406E-01	3.78929E-01	1.28380E 00	1.14441E 00	5.55554E-01
3.18309E-02	6.91869E-01	3.17865E-01	1.23205E 00	1.37238E 00	5.31247E-01
4.77464E-02	5.80082E-01	2.54505E-01	1.06454E 00	1.91453E 00	5.13884E-01
6.36618E-02	4.77415E-01	2.15195E-01	8.84825E-01	2.45625E 00	5.07804E-01
7.95772E-02	3.89910E-01	1.86285E-01	7.25269E-01	2.93108E 00	5.04987E-01
9.54927E-02	3.18947E-01	1.64244E-01	5.93826E-01	3.32290E 00	5.03454E-01
1.11408E-01	2.62732E-01	1.47251E-01	4.88917E-01	3.63851E 00	5.02526E-01
1.27324E-01	2.18515E-01	1.34013E-01	4.06061E-01	3.89165E 00	5.01921E-01
1.43239E-01	1.83668E-01	1.23569E-01	3.40605E-01	4.09604E 00	5.01502E-01
1.59155E-01	1.56014E-01	1.15204E-01	2.88584E-01	4.26321E 00	5.01200E-01
2.38732E-01	7.91723E-02	9.04608E-02	1.43855E-01	4.78787E 00	5.00443E-01
3.18309E-01	4.75654E-02	7.76978E-02	8.44419E-02	5.09502E 00	5.00112E-01
4.77464E-01	2.29486E-02	6.17181E-02	3.86607E-02	5.54078E 00	4.99690E-01
6.36618E-01	1.36916E-02	4.99821E-02	2.19387E-02	5.90220E 00	4.99280E-01
7.95772E-01	9.16719E-03	4.06182E-02	1.40816E-02	6.19973E 00	4.98805E-01
9.54927E-01	6.58851E-03	3.31756E-02	9.78736E-03	6.43742E 00	4.98244E-01
1.11408E 00	4.96746E-03	2.73111E-02	7.19144E-03	6.62308E 00	4.97592E-01
1.27324E 00	3.87774E-03	2.26991E-02	5.50486E-03	6.76620E 00	4.96846E-01
1.43239E 00	3.10874E-03	1.90589E-02	4.34837E-03	6.87561E 00	4.96005E-01
1.59155E 00	2.54546E-03	1.61646E-02	3.52115E-03	6.95866E 00	4.95071E-01
2.38732E 00	1.15671E-03	8.09039E-03	1.56331E-03	7.13756E 00	4.89024E-01
3.18309E 00	6.48484E-04	4.76105E-03	8.78901E-04	7.12270E 00	4.80808E-01
4.77464E 00	2.77669E-04	2.18704E-03	3.90455E-04	6.86838E 00	4.58791E-01
6.36618E 00	1.47149E-04	1.24390E-03	2.19598E-04	6.47265E 00	4.31152E-01
7.95772E 00	8.74313E-05	7.99662E-04	1.40534E-04	6.00956E 00	4.00157E-01
9.54927E 00	5.57798E-05	5.56343E-04	9.75904E-05	5.52086E 00	3.67838E-01
1.14080E 01	3.50794E-05	3.90079E-04	6.83792E-05	4.95473E 00	3.30518E-01
1.27324E 01	2.59734E-05	3.13147E-04	5.48937E-05	4.56937E 00	3.05111E-01
1.43239E 01	1.85774E-05	2.47360E-04	4.33732E-05	4.13572E 00	2.76486E-01
1.59155E 01	1.36060E-05	2.00277E-04	3.51323E-05	3.73887E 00	2.50945E-01
2.38732E 01	3.71049E-06	8.88098E-05	1.56149E-05	2.29140E 00	1.54055E-01
3.18309E 01	1.35573E-06	4.98775E-05	8.78357E-06	1.48584E 00	1.00157E-01
4.77464E 01	3.02079E-07	2.21334E-05	3.90388E-06	7.41239E-01	5.00883E-02
6.36618E 01	1.00549E-07	1.24418E-05	2.19596E-06	4.35615E-01	2.94662E-02
7.95772E 01	4.24271E-08	7.96015E-06	1.40542E-06	2.84693E-01	1.92671E-02

FRACTIONAL CONTRIBUTION OF EACH NOISE COMPONENT TO THE TOTAL NOISE SOURCE AT THE NORMALIZATION POINT OF FREQUENCY

N-N	N-C	N-EF	N-EM	C-C	C-EF	C-EM	EF-EF	EF-EM	EM-EM
		FROM BINARY NES(FISSION)							
		FROM BINARY NES(HEAT TRANSFER)							
		FROM COOL. REM							
		FROM 2ND MOMENT							
		FROM EXTERNAL DISTURBANCE							
		SUM							
3.619E-09	2.553E-11	-1.536E-10	-0.	8.990E-14	-9.515E-11	-0.	1.351E-12	0.	0.
0.	0.	-0.	-0.	0.	-0.	-0.	4.052E-02	-6.968E-02	2.998E-02
0.	0.	-0.	-0.	0.	-0.	-0.	0.	0.	9.992E-01
-5.875E-14	9.919E-16	-4.401E-15	-0.	0.	-0.	-0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
3.619E-09	2.553E-11	-1.536E-10	-0.	8.990E-14	-9.515E-11	-0.	4.052E-02	-6.968E-02	1.029E 00

NOISE SOURCE SPECTRE EF-EF COMPONENT NORMALIZED AT 7.95772E-03(CPS)

CPS	NOISE SOURCE SPECTRE NORMALIZED	NOISE SOURCE SPECTRE UNNORMALIZED
1.59155E-04	1.740E 00	6.213E 15
2.38732E-04	1.740E 00	6.210E 15
3.18309E-04	1.739E 00	6.206E 15
4.77464E-04	1.736E 00	6.196E 15

以下省略

SPECTRA OF NOISE SOURCE COMPONENT

CPS	N-N	N-C	N-EF	N-EM	C-C	C-EF	C-EM	EF-EF	EF-EM	EM-EM	TM
1.592E-04	1.055E 00	2.108E 00	1.122E-03	1.600E 00	2.108E 00	-7.565E-01	2.036E 00	8.433E-04	1.845E-03	1.830E 00	6.594E-
2.387E-04	1.054E 00	2.107E 00	2.175E-03	1.600E 00	2.107E 00	-7.547E-01	2.035E 00	1.896E-03	2.914E-03	1.830E 00	6.598E-
3.183E-04	1.054E 00	2.106E 00	3.647E-03	1.599E 00	2.106E 00	-7.521E-01	2.033E 00	3.369E-03	4.408E-03	1.828E 00	6.603E-
4.775E-04	1.054E 00	2.101E 00	7.841E-03	1.597E 00	2.101E 00	-7.448E-01	2.029E 00	7.564E-03	8.665E-03	1.825E 00	6.618E-

以下省略

FRACTIONAL CONTRIBUTION OF EACH NOISE COMPONENT TO THE TOTAL NOISE SOURCE AT THE NORMALIZATION POINT OF FREQUENCY

N-N	N-C	N-EF	N-EM	C-C	C-EF	C-EM	EF-EF	EF-EM	EM-EM
		FROM BINARY NES(FISSION)							
		FROM BINARY NES(HEAT TRANSFER)							
		FROM COOL. REM							
		FROM 2ND MOMENT							
		FROM EXTERNAL DISTURBANCE							
		SUM							
3.092E-08	2.181E-10	2.959E-10	-0.	7.681E-13	-1.088E-13	-0.	1.111E-12	-0.	0.
0.	0.	0.	-0.	0.	-0.	-0.	3.332E-02	1.594E-02	2.769E-02
0.	0.	0.	-0.	0.	-0.	-0.	0.	-0.	9.230E-01
-5.020E-13	8.476E-15	8.478E-15	-0.	0.	-0.	-0.	0.	-0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
3.092E-08	2.181E-10	2.959E-10	-0.	7.681E-13	-1.088E-13	-0.	3.332E-02	1.594E-02	9.507E-01

NOISE SOURCE SPECTRE M-M COMPONENT NORMALIZED AT 7.95772E-03(CPS)

CPS	NOISE SOURCE SPECTRE NORMALIZED	NOISE SOURCE SPECTRE UNNORMALIZED
1.59155E-04	1.125E-01	7.802E 16
2.38732E-04	1.134E-01	7.868E 16
3.18309E-04	1.148E-01	7.961E 16
4.77464E-04	1.186E-01	8.225E 16

以下省略

SPECTRA OF NOISE SOURCE COMPONENT

CPS	N-N	N-C	N-EF	N-EM	C-C	C-EF	C-EM	EF-EF	EF-EM	EM-EM	TM
1.592E-04	1.071E 00	2.141E 00	1.139E-03	4.054E-01	2.141E 00	2.141E 00	2.238E 00	8.565E-04	9.217E-04	1.095E-01	1.117E 0
2.387E-04	1.071E 00	2.140E 00	2.208E-03	4.061E-01	2.140E 00	2.140E 00	2.237E 00	1.926E-03	1.991E-03	1.105E-01	1.116E 0
3.183E-04	1.071E 00	2.138E 00	3.703E-03	4.070E-01	2.138E 00	2.138E 00	2.235E 00	3.421E-03	3.486E-03	1.118E-01	1.116E 0
4.775E-04	1.071E 00	2.134E 00	7.963E-03	4.096E-01	2.134E 00	2.134E 00	2.230E 00	7.682E-03	7.747E-03	1.156E-01	1.116E 0

以下省略

FRACTIONAL CONTRIBUTION OF EACH NOISE COMPONENT TO THE TOTAL NOISE SOURCE AT THE NORMALIZATION POINT OF FREQUENCY

N-N	N-C	N-EF	N-EM	C-C	C-EF	C-EM	EF-EF	EF-EM	EM-EM
		FROM BINARY NES(FISSION)							
		FROM BINARY NES(HEAT TRANSFER)							
		FROM COOL. REM							
		FROM 2ND MOMENT							
		FROM EXTERNAL DISTURBANCE							
		SUM							
1.567E-08	1.105E-10	1.499E-10	0.	7.784E-13	2.999E-09	0.	-5.627E-13	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.688E-02	-4.388E-02	2.991E-02
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	9.971E-01
-2.543E-13	4.294E-15	4.295E-15	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
1.567E-08	1.105E-10	1.499E-10	0.	7.784E-13	2.999E-09	0.	1.688E-02	-4.388E-02	1.027E 00

高出力炉雑音スペクトル密度計算コード NESAP-2

要　旨

一点炉・一遅発中性子群・燃料温度および減速材温度による，反応度フィード・バック・ループのある高出力炉における炉出力雑音および温度雑音のスペクトル密度を算出する計算コードである．雑音源は，generalized Schottky の公式により定めた．さらに，一次遅れの外部雑音源をとり入れることができる．

伝達素過程1回当り交換される熱エネルギー量は，未知量なので，これをパラメトリックに変えて一連の計算ができるようにしてある．また，入力雑音源に関する実験データが与えられている場合，これを理論から定められるいくつかの入力雑音源成分を組み合わせて，再現し，同時に上述した未知量を定める最小自乗法ルーチンも補助コードとして用意されている．

1969 年 5 月

日本原子力研究所東海研究所
原子炉工学部
斎　藤　慶　一

NESAP-2: A FORTRAN-IV Code for Calculation of Noise Spectra in At-Power Reactors

Summary

The present code obtains neutron and temperature noise spectral densitiy in at-power reactors on one-space-point model which has a single group of delayed neutrons and two loops of reactivity feedback via fuel and moderator (including coolant) temperature. Noise-equivalent sources are determined by the generalized Schottky formula. Extraneous noise-equivalent source with the first-order delay effect is also taken into account.

Thermal energies exchanged between fuel and moderater, or removed from coolant by an elementary stochastic event are, however, unknown statistical parameters. It is possible, to perform a parametric survey on these unknowns. An auxiliary routine synthesizes theoretical components of the input noise source by the least square method so as to give the best fit to an experimentally obtained input noise source and determines the values of the unknowns.

The present code is based on the paper entitld with "Input Noise Sources of At-Power Reactors with Temperature Feedback Effect", published in *Nucl. Sci. Eng.*, 37, 380(1969).

May 1969

Keiichi SAITO
Division of Nuclear Engineering
Takai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute

目　次

1. はじめに …… 1
2. 理論式 …… 3
2.1 理論モデル …… 3
2.2 期待値および分散 (COVR) …… 5
2.3 炉出力雑音スペクトル密度 (PNOIS) …… 9
2.4 燃料温度雑音スペクトル密度 (TFNOIS) …… 11
2.5 冷却材温度雑音スペクトル密度 (TMNOIS) …… 12
2.6 伝達関数 (TRANSF) …… 13
3. コードの構成 …… 14
4. 入力形式 …… 16
5. 出力形式 …… 18
5.1 リスト …… 18
5.2 カード …… 20
謝　辞 …… 23
参考文献 …… 24
付録Ⅰ　行列 $Gr[s]$ の要素 …… 25
付録Ⅱ　NESAP 例題 …… 26
付録Ⅲ　サブルーチン DIST …… 30
付録Ⅳ　NESPL コード …… 32
付録Ⅴ　NESFIT コード …… 36

Contents

1. Introduction …… 1
2. Formulas …… 3
2.1 Theoretical model …… 3
2.2 Mean and variance (COVR) …… 5
2.3 Power noise spectrum (PNOIS) …… 9
2.4 Fuel temperature noise spectrum (TFNOIS) …… 11
2.5 Coolant temperature noise spectrum (TMNOIS) …… 12
2.6 Transfer function (TRANSF) …… 13
3. Tree structure of the NESAP-2 code …… 14
4. Input format …… 16
5. Output format …… 18
5.1 List …… 18
5.2 Cards …… 20
Acknowledgements …… 23
References …… 24
Appendix Ⅰ Component of the matrix, $Gr[s]$ …… 25
Appendix Ⅱ Sample problem of the NESAP-2 …… 26
Appendix Ⅲ Subroutine DIST …… 30
Appendix Ⅳ NESPL code …… 32
Appendix Ⅴ NESFIT code …… 36

1. はじめに

高出力時における炉出力雑音（中性子検出器出力電流のゆらぎ）のスペクトル密度は，零出力炉モデルによる雑音スペクトル密度とは異なり，その炉の伝達関数のゲインには，比例しないという実験報告[1~6]がある．中性子の分枝（核分裂）過程に起因する白色（核分裂物質と中性子とが複合核を作って，励起状態にある時間の逆数，すなわち，10^{20} rad/sec 以下では，この近似は正しい）な入力雑音源の他に，高出力炉では，特に低周波領域（数 Hz 程度）で著しく寄与の大きいスペクトルをもった雑音源が存在するものと考えられる．この存在を裏づけるひとつの説明に，温度，ボイド量のふらつきによる反応度の統計的変動が高出力炉では無視できないのではなかろうかということがとりざたされ，分枝過程に起因する雑音源を，Shot Noise と呼ぶのに対し新たに Flicker Noise と呼ばれる[1]雑音源の定量的評価をおこなうことが問題となっている．

高出力炉における出力の統計的ゆらぎについては，すでに，1958 年 Harris[7] により 1 点炉，1 フィード・バック・ループ・モデルで検討され，さらに，ボイド効果を含めた 2 フィード・バック・ループの場合に 1962 年 Pluta[8] が拡張をおこなっている．しかしながら，これらの検討は，原子炉の雑音解析実験法を念頭においたものではなく，むしろ，炉固有のゆらぎに対する炉の安定条件を求めるという制御工学的な見地からおこなわれており，雑音スペクトル密度の表式を求めてはいるが定性的なものにすぎない．

一方，Moore[9] は，一点炉モデルで，中性子数，先行核数および原子炉温度の期待値のまわりのふらつきに対する連立 Langevin 方程式を設定し，その Langevin force の相互スペクトル密度を白色と仮定し，その絶対値について定性的な考察をおこなっている．これに対して，Utsuro[10] は，1966 年 Harris のモデルを使って，Fokker-Planck の方法で炉出力のゆらぎを算出した．燃料体のもつ熱エネルギーのゆらぎの機構として，核分裂による放出過程の他に，新たに冷却材への熱伝達過程の統計性を考慮し，この後者の機構により低周波側で雑音スペクトル密度が，零出力炉での雑音スペクトル密度より著しく盛り上がる可能性が指摘された．Sheff[11] は，同じく Harris のモデルを用いて，Langevin の方法により炉出力雑音スペクトルを求めた．雑音源の大きさを定めるのに Schottky の公式を適用している．

一方，Saito & Taji[12] は，従来の取り扱い方法の基盤に，中性子数，先行核数，燃料体の熱エネルギー含有量といった炉の状態量が，Markov 過程に従うという暗黙の前提があることを明らかにし，Lax[13] が展開した generalized Einstein の方法を応用して解析をおこなった．この方法は，単純な行列演算が中心になっており，フィード・バック・ループが 2 つ以上ある場合へも容易に適用でき，しかも，炉雑音スペクトル密度と炉振動法により得られる伝達関数のゲインとの比として，定義される入力雑音源スペクトルの物理的内容を明確にすることができた．熱エネルギーを Harris 等[7,8,10,11] がやっているように，無理に量子化する事を避けていることおよび燃料体と冷却材との間の熱伝達現象を，燃料体から冷却材へのエネルギー輸送，冷却材から燃料体へのエネルギー輸送の 2 つの独立した現象に分けた取り扱いをおこなっている．熱伝達の時定数から定まる数 rad/sec に，折点周波数をもつ入力雑音源が発見され，その寄与は，熱伝達素過程 1 回当り交換されるエネルギー量 $\langle \mu_t \rangle$ と核分裂素過程 1 回当り放出されるエネルギー量 $\langle \mu_f \rangle$（平均 200 MeV）との比に関係することが明らかになった．従来の取り扱いでは，この比を 1 と仮定しており，炉出力の上昇と共に Flicker Noise は，増加することは示せても，通常の条件（~MW オーダの出力．Usturo *et al.*[5] の実験は 100 kW で行なわれている）で，Flicker Noise がShot Noise に打ち勝つことを説明できなかった．

本報は，generalized Einstein の方法[14] の 1 点炉，2 フィード・バック・ループ（燃料体温度および冷却材

* 以下文献 I と略す

温度による）モデルへの応用[15)*] をコード化したものである。エネルギー比 $\langle\mu_t\rangle/\langle\mu_f\rangle$ が未知量なので，これをパラメータにしたサーベイ計算が容易にできるよう工夫してある．また，入力雑音源に関する実験データが与えられている場合，これを入力雑音源成分を組み合わせて理論的に再現し，同時にエネルギー比の値を定める最小自乗法ルーチン（Subroutine FITING）も，オプションとして使用できる．

現実の高出力炉雑音はしかし，内部的に相互に関連し合った機械的，熱水力学的な数多くの要因の作りだすひとつの複合現象であり，本報でおこなわれているようなモデルを適用するにはあまりに複雑すぎるかも知れない．本報で議論しているような熱力学的要因に起因する雑音は存在するにしても，その寄与は他のたとえば，制御板の振動に起因する雑音に比べて無視しうるほど小さい場合もあろう．

NOMURA[16)] は，BWR の雑音解析モデルとして，中性子の分枝過程に起因する雑音源は，はじめから無視できるものとし，空間依存性を Single channel モデルで取り入れ，軸方向のボイドの生成素過程が，空間的および時間的に白色と仮定して，炉出力のゆらぎのスペクトル密度を求めている．水—水蒸気2相流における質量およびエネルギー保存式から，ゆらぎに対する Langevin 方程式を線型化近似で求め，ボイド量，圧力，温度のゆらぎによる反応度変調を算出し，中性子数のゆらぎと結びつけている．

一方，OTSUKA[17)], BORGWALDT[18)] は，それぞれ，内部的なフィード・バック，さらに外部的なコントロール・ループのある体系に統計的な反応度変調が加えられた場合の炉出力の応答を論じている．また，OTSUKA & SUDA[19)] は，Water Boiler 型炉の動特性解析における SKINNER & HETRICK[20)] のモデルで，反応度変調としての入力雑音の他に，水力的現象に基づく雑音が加えられた場合，出力雑音スペクトル密度に共振のピークが見られるための条件について検討をおこなっている．

高出力炉動特性解析においては，まず，動特性モデルの設定（いわゆる block diagram の設定あるいは，その炉の動特性をマルコフ的に記述するために必要かつ十分な種類の状態量とそれらの従う運動方程式の設定）をおこなうことが，ひとつの大きな問題である．雑音解析，特にその現象論的解析においては，さらに各種の雑音源の大きさ，周波数依存性の撰択に自由度が残されている．動特性モデルの確定，雑音源の物理的解明のためには，どうしてもパラメトリックに行なわれた一連の実験データとの照合を系統的におこなわなければならず，この目的に沿った計算コードの開発が今後必要とされるであろう．本コードが，ひとつの刺激になれば幸いである．

2. 理　論　式

2.1 理論モデル

本コードにおける理論モデルおよび前提を列挙する.

理論モデル

① 一点炉

② 一遅発中性子群

③ 燃料温度および減速材（＋冷却材）温度による反応度フィード・バック

中性子数 N, 先行核数 C, 燃料体のもつエネルギー θ および減速材のもつエネルギー θ_m, 以上4つを原子炉の状態を記述する状態ベクトルの成分とする.

前　提

① 4つの状態変数は，一次のマルコフ過程に従う.

② 反応素過程は，表1に示す.

③ 中性子反応断面積と中性子速との積 Λ は，次式で与えられるものとする.

吸収：
$$\Lambda_C=\Lambda_C(\theta,\theta_m)$$
$$=\Lambda_{C1}-\gamma_C(\theta-\langle\theta\rangle)-\gamma_m(\theta_m-\langle\theta_m\rangle). \tag{1}$$

分裂：
$$\Lambda_f=\Lambda_f(\theta)$$
$$=\Lambda_{f1}-\gamma_f(\theta-\langle\theta\rangle). \tag{2}$$

（1）および（2）式において，$\langle\theta\rangle$, $\langle\theta_m\rangle$ は，それぞれ定常状態における燃料体エネルギー，減速材エネルギーの期待値を示す. 反応率 Λ のティラー展開係数 γ_C, γ_m, γ_f は，いわゆる反応度温度係数と次の関係で結ばれる.

全温度係数：
$$t_C=t_{Cf}+t_{Cm}. \tag{3}$$

燃料温度係数：
$$t_{Cf}=\frac{\delta\rho}{\delta\theta/C_f}$$
$$=t_{Cff}+t_{CfC}.$$

核分裂断面積を通じての燃料温度係数：
$$t_{Cff}=\frac{1-(1-\rho)\langle\nu\rangle}{\langle\nu\rangle\Lambda_{f1}}\gamma_f C_f. \tag{4}$$

吸収断面積を通じての燃料温度係数：
$$t_{CfC}=\frac{\gamma_C C_f}{\langle\nu\rangle\Lambda_{f1}}. \tag{5}$$

減速材温度係数：
$$t_{Cm}=\frac{\delta\rho}{\delta\theta_m/C_m}$$
$$=\frac{\gamma_m C_m}{\langle\nu\rangle\Lambda_{f1}}. \tag{6}$$

C_f, C_m は，それぞれ燃料体および減速材の熱容量である．また，反応度 ρ および実効増倍率 k は，次のように定義した．

$$\rho=\frac{k-1}{k}, \tag{7}$$

$$k=\frac{\langle\nu\rangle\Lambda_{f1}}{\Lambda_{f1}+\Lambda_{C1}}. \tag{8}$$

$\langle\nu\rangle$ は，核分裂に伴い放出される2次中性子数の期待値．なお，実効増倍率の定義としては，(8)式の他に，反応数の期待値を用いた次のようなものも考えられる．

$$k_r=\frac{\langle\nu\rangle\langle\Lambda_f N\rangle}{\langle\Lambda_f N\rangle+\langle\Lambda_C N\rangle}. \tag{9}$$

k と k_r は，温度係数が零の場合のみ等しくなる．本コードでは，ρ をドル単位でインプットし，ゆらぎの分散を算出した後，比較のために k と k_r をアウトプットするようになっている．

TABLE 1. Elementary events in a point reactor with two loops of reactivity feedback

Nature of elementary events	Rate of occurrence	Net increase in			
		N	C	θ	θ_m
Source emission of neutrons	S	1	0	0	0
Precursor decay	λC	1	-1	0	0
Fission	$\Lambda_f N p(\nu_p, \nu_d, \mu_f)$	ν_p-1	ν_d	μ_f	0
Capture	$\Lambda_C N$	-1	0	0	0
Heat transfer (Scheme I*)	$\lambda_{tI}(\theta/C_f-\theta_m/C_m)p(\mu_t)$	0	0	$-\mu_t$	μ_t
Heat transfer (Scheme II*)					
to coolant	$\lambda_t\theta p(\mu_t)$	0	0	$-\mu_t$	μ_t
from coolant	$\lambda_m\theta_m p(\mu_m)$	0	0	μ_m	$-\mu_m$
Heat removal in coolant	$\lambda_r\theta_m p(\mu_r)$	0	0	0	$-\mu_r$

TABLE 1 における記号は，エネルギー釣合の関係式**に現われる慣用の記号と次のような関係にある．

$$\langle\mu_t\rangle\lambda_t=K/C_f. \tag{15}$$

$$\langle\mu_m\rangle\lambda_m=K/C_m. \tag{16}$$

$$\langle\mu_r\rangle\lambda_r=1/\tau_m. \tag{17}$$

$$\langle\mu_t\rangle\lambda_{tI}=K. \tag{18}$$

なお，ここで次のような統計パラメータを定義しておく．

$$\langle\nu_p\mu_f\rangle=(1-\beta)\langle\nu\rangle\langle\mu_f\rangle\chi_{pf}, \tag{19}$$

$$\langle\nu_d\mu_f\rangle=\beta\langle\nu\rangle\langle\mu_f\rangle\chi_{df}. \tag{20}$$

ここで β は，核分裂で放出される2次粒子数の平均に対する先行核数の平均の比，すなわち

$$\beta=\frac{\langle\nu_d\rangle}{\langle\nu\rangle}. \tag{21}$$

---

* cf. Ref. (21)

** 燃料体および減速材の平均温度を次のように定義する．

$$\langle\theta_f\rangle=\langle\theta\rangle/C_f, \tag{10}$$

$$\langle\theta_m\rangle=\langle\theta_m\rangle/C_m. \tag{11}$$

この時，エネルギの釣合の関係式は，次のように書ける，

$$P-K(\langle\theta\rangle_f-\langle\theta_m\rangle)=0, \tag{12}$$

$$K(\langle\theta_f\rangle-\langle\theta_m\rangle)-\frac{C_m\langle\theta_m\rangle}{\tau_m}=0. \tag{13}$$

ここで

$P=\langle\mu_f\rangle\langle\Lambda_f N\rangle$：熱出力． (14)

K：熱伝達係数．

τ_m：冷却材の平均炉内滞在時間．

ここで,

$$\nu=\nu_p+\nu_d. \tag{22}$$

また

$$\chi_{pf}=\langle\nu_p\mu_f\rangle/\langle\nu_p\rangle\langle\mu_f\rangle, \tag{23}$$

$$\chi_{df}=\langle\nu_d\mu_f\rangle/\langle\nu_d\rangle\langle\mu_f\rangle. \tag{24}$$

さらに

$$\chi_{ff}=\langle\mu_f^2\rangle/\langle\mu_f\rangle^2, \tag{25}$$

$$\chi_{tt}=\langle\mu_t^2\rangle/\langle\mu_t\rangle^2, \tag{26}$$

$$\chi_{mm}=\langle\mu_m^2\rangle/\langle\mu_m\rangle^2, \tag{27}$$

$$\chi_{rr}=\langle\mu_r^2\rangle/\langle\mu_r\rangle^2 \tag{28}$$

とおく.

さて，中性子数のゆらぎのスペクトル密度と検出器出力のゆらぎのスペクトル密度とは，比例関係にないことは，よく知られている。中性子の直接（あるいは自己）相関項は，観測されず，新たに白色な検出器雑音項が加わる[14,18]. 一方，エネルギー（温度）検出器においては，その応答時間の有限性が，実験解析上無視しえないであろう.

本コードでは，検出器効果については，次のように考えた.

① 中性子検出器は，検出に伴ない1箇の中性子を吸収し，ただちに1単位の観測量（カウントまたは電荷を放出する).

② エネルギー（温度）検出器は，一種の "ideal detector" とみなす。すなわち，検出にともない，原子炉から奪う（あるいは，炉に戻す）エネルギー量は無視する. 検出器出力はエネルギーの状態に忠実に追従している.

なお，数値計算上，次の近似をおこなった.

近 似

① ゆらぎ（期待値からのずれ）の3次モーメントがもたらす雑音源（マトリックス）への寄与は，無視する.

2.2 期待値および分散 (Subroutine COVR)

状態量のモーメントを定める関係式は，いわゆる "hierarchic" な構造をしている. 原理的には，期待値に対する4つの関係式，分散に対する10箇の関係式，合わせて14箇の連立方程式を解く必要がある. 数値計算上の誤差が生ずる可能性および将来，3次モーメントの寄与をとりいれる際の便宜を考慮して，本コードでは，繰返し法を採用した. すなわち，中性子数の期待値を初期値として与え，分散を与える10元の連立方程式，いわゆる Einstein の関係式を解く. 得られた分散の値を用いて，中性子数の期待値を定める. その結果を，初期値と比較する. 差異が入力データであらかじめ指定した値に比べて，大きければ，新たに得られた値を初期値として，再び Einstein の関係式を解く. この手続きを，あらかじめ入力データとして与えられた収束判定条件が満足されるまで繰返す. (cf. Fig. 1)

(1) 期待値

入力データとして与えられる炉出力 P および核分裂一回当り放出される平均のエネルギー $\langle\mu_f\rangle$ を用いて，まず平均の核分裂数 R_f を算出する.

$$R_f=P/\langle\mu_f\rangle(=\langle\Lambda_f N\rangle). \tag{29}$$

ついで，状態量の期待値を定める.

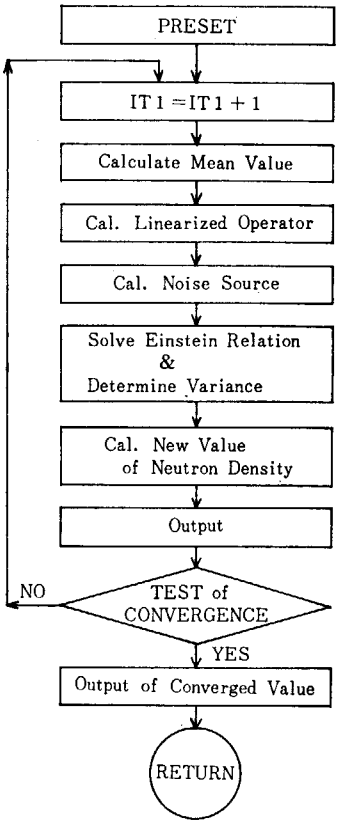

Fig. 1 Flow chart of the subroutine COVR

$$\langle C\rangle=\langle\nu_d\rangle R_f/\lambda, \tag{30}$$

$$\langle\theta_m\rangle=P\tau_m, \tag{31}$$

$$\langle\theta\rangle=[P+\langle\theta_m\rangle K/C_m]/(K/C_f). \tag{32}$$

ここで，λ は，先行核の崩壊定数.

中性子数の期待値は，$P/(\langle\mu_f\rangle\Lambda_{f1})$ を初期値としてまず用いる.

（2） Linearized Operator Matrix

4つの状態量 N, C, θ および θ_m を成分とする縦ベクトル $\underline{f}$ を，原子炉の状態ベクトルと呼ぼう.

期待値 $\langle\underline{f}(t)\rangle$ は，非線型な運動方程式に従う．特に，炉に外乱 $\delta\underline{S}e^{i\omega t}$ を加えた場合，その応答の期待値

$$\delta\underline{f}(t)_M=\underline{f}(t)_M-\langle\underline{f}\rangle_s \tag{33}$$

は，もし，ずれ $\langle\delta\underline{f}(t)_M\rangle$ が小さければ，次の線型化された運動方程式に従うとみなすことができる.

$$\frac{\partial}{\partial t}\langle\delta\underline{f}(t_M)\rangle=-L\langle\delta\underline{f}(t)_M\rangle+\delta\underline{S}e^{i\omega t}. \tag{34}$$

作用素行列 L は，次のように定義される。

$$L=\begin{pmatrix} \alpha_p\ , & -\lambda, & [\langle\nu_p-1\rangle\gamma_f-\gamma_C]N_{1s}, & -\gamma_m N_{1s} \\ -\langle\nu_d\rangle\Lambda_{f1}, & \lambda, & \langle\nu_d\rangle\gamma_f N_{1s}\ , & 0 \\ -\langle\mu_f\rangle\Lambda_{f1}, & 0, & K/C_f+\langle\mu_f\rangle\gamma_f N_{1s}\ , & -K/C_m \\ 0\ , & 0, & -K/C_f\ , & K/C_m+/\tau_m \end{pmatrix}. \tag{35}$$

ここで，α_p は，即発中性子減衰定数，すなわち

$$\alpha_p=\Lambda_{C1}+\Lambda_{f1}-(1-\beta)\langle\nu\rangle\Lambda_{f1}. \tag{36}$$

（3） Noise-Equivalent Source Matrix

定常状態における“ゆらぎ”

$$\delta \underline{f}(t)=\underline{f}(t)-\langle \underline{f}\rangle_s \tag{37}$$

は，次の Langevin 方程式に従う．

$$\frac{\partial}{\partial t}\delta \underline{f}(t)=-L\delta \underline{f}(t)+\underline{F}(t). \tag{38}$$

ゆらぎをひきおこす Langevin Force の期待値は，

$$\langle \underline{F}(t)\rangle=0 \tag{39}$$

であり，また，その相関関数は，ゆらぎの3次のモーメントからの寄与を無視すれば，白色なスペクトルをもつ．すなわち，

$$\langle \underline{F}(t)\underline{F}(u)\rangle=2\langle D_2\rangle\delta(t-u). \tag{40}$$

スペクトルの大きさは，次のように与えられる．

$$2\langle D_2\rangle=LE+EL^T+Q_B+Q_2. \tag{41}$$

ここで

$$E=\begin{pmatrix} \langle N\rangle, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & \langle C\rangle, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 0 \end{pmatrix}, \tag{42}$$

$$Q_B=\begin{pmatrix} \langle \nu_p(\nu_p-1)\rangle\langle \Lambda_f N\rangle, & \langle \nu_p\nu_d\rangle\langle \Lambda_f N\rangle, & \langle \nu_p\mu_f\rangle\langle \Lambda_f N\rangle, & 0 \\ * , & \langle \nu_d(\nu_d-1)\rangle\langle \Lambda_f N\rangle, & \langle \nu_d\mu_f\rangle\langle \Lambda_f N\rangle, & 0 \\ * , & * , & \langle \mu_f^2\rangle\langle \Lambda_f N\rangle+q_{BT} & -q_{BT} \\ * , & * , & * , & q_{BT}+\langle \mu_r^2\rangle\lambda_r\langle \theta_m\rangle \end{pmatrix}; \tag{43}$$

$$Q_2=\begin{pmatrix} 2[(\nu_p-1)\gamma_f-\gamma_C]\langle \delta N\delta\theta\rangle, & \langle \nu_d\rangle\gamma_f\langle \delta N\delta\theta\rangle, & \langle \mu_f\rangle\gamma_f\langle \delta N\delta\theta\rangle, & 0 \\ * , & 0, & 0, & 0 \\ * , & * , & 0, & 0 \\ * , & * , & * , & 0 \end{pmatrix}, \tag{44}$$

行列 Q_B, Q_2 は，いずれも対角行列である．対角線下の要素は，記号＊を用いて省略してある．

Q_B の第（3−3）要素および第（4−4）要素に現われる量は，次のように定義される．

$$\langle \mu_f^2\rangle\langle \Lambda_f N\rangle=\langle \mu_f\rangle^2\chi_{ff}R_f \tag{45}$$

$$q_{BT}=\langle \mu_t^2\rangle\lambda_{tI}[\langle \theta\rangle/C_f-\langle \theta_m\rangle/C_m]=\langle \mu_t\rangle\chi_{tt}P\text{ ; Scheme I の場合}$$

$$=\langle \mu_t^2\rangle\lambda_t\langle \theta\rangle+\langle \mu_m^2\rangle\lambda_m\langle \theta_m\rangle=\langle \mu_t\rangle\chi_{tt}\langle \theta\rangle K/C_f+\langle \mu_m\rangle\chi_{mm}\langle \theta_m\rangle K/C_m\text{ ; Scheme II の場合} \tag{46}$$

$$\langle \mu_r^2\rangle\lambda_r\langle \theta_m\rangle=\langle \mu_r\rangle\chi_{rr}\langle \theta_m\rangle/\tau_m \tag{47}$$

行列 Q_2 は，第1回目の繰返しでは，零行列とする．第2回目以降は，前回の計算で得られた $\langle \delta N\delta\theta\rangle$ の値を用いる．

（4） 分　散

定常状態における分散の値 $\langle \delta \underline{f}\delta \underline{f}\rangle$ は，次の行列方程式（Einstein の関係式）の解として与えられる．

$$L\langle\underline{\delta f}\,\underline{\delta f}\rangle+\langle\underline{\delta f}\,\underline{\delta f}\rangle L^T=2(D_2). \tag{48}$$

ここで，L^T は，作用素行列 L の転置行列である．

具体的には，次の10元連立方程式を解くことになる．解法には計算センター堀上邦彦氏の作製したサブルーチン CRŌUT を使用している[22]．

$$\begin{pmatrix}
2L^{(11)} & 2L^{(12)} & 2L^{(13)} & 2L^{(14)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
L^{(21)} & L^{(22)}+L^{(11)} & L^{(23)} & L^{(24)} & L^{(12)} & L^{(13)} & L^{(14)} & 0 & 0 & 0 \\
L^{(31)} & L^{(32)} & L^{(33)}+L^{(11)} & L^{(34)} & 0 & L^{(12)} & 0 & L^{(13)} & L^{(14)} & 0 \\
L^{(41)} & L^{(42)} & L^{(43)} & L^{(44)}+L^{(11)} & 0 & 0 & L^{(12)} & 0 & L^{(13)} & L^{(14)} \\
0 & 2L^{(21)} & 0 & 0 & 2L^{(22)} & 2L^{(23)} & 2L^{(24)} & 0 & 0 & 0 \\
0 & L^{(31)} & L^{(21)} & 0 & L^{(32)} & L^{(33)}+L^{(22)} & L^{(34)} & L^{(23)} & L^{(24)} & 0 \\
0 & L^{(41)} & 0 & L^{(21)} & L^{(42)} & L^{(43)} & L^{(44)}+L^{(22)} & 0 & L^{(23)} & L^{(24)} \\
0 & 0 & 2L^{(31)} & 0 & 0 & 2L^{(32)} & 0 & 2L^{(33)} & 2L^{(34)} & 0 \\
0 & 0 & L^{(41)} & L^{(31)} & 0 & L^{(42)} & L^{(32)} & L^{(43)} & L^{(44)}+L^{(33)} & L^{(34)} \\
0 & 0 & 0 & 2L^{(41)} & 0 & 0 & 2L^{(42)} & 0 & 2L^{(43)} & 2L^{(44)}
\end{pmatrix}\times$$

$$\begin{pmatrix}
\langle\delta N^2\rangle \\
\langle\delta N\delta C\rangle \\
\langle\delta N\delta\theta\rangle \\
\langle\delta N\delta\theta_m\rangle \\
\langle\delta C^2\rangle \\
\langle\delta C\delta\theta\rangle \\
\langle\delta C\delta\theta_m\rangle \\
\langle\delta\theta^2\rangle \\
\langle\delta\theta\delta\theta_m\rangle \\
\langle\delta\theta_m{}^2\rangle
\end{pmatrix}=2\times\begin{pmatrix}
\langle D_2{}^{(11)}\rangle \\
\langle D_2{}^{(12)}\rangle \\
\langle D_2{}^{(13)}\rangle \\
\langle D_2{}^{(14)}\rangle \\
\langle D_2{}^{(22)}\rangle \\
\langle D_2{}^{(23)}\rangle \\
\langle D_2{}^{(24)}\rangle \\
\langle D_2{}^{(33)}\rangle \\
\langle D_2{}^{(34)}\rangle \\
\langle D_2{}^{(44)}\rangle
\end{pmatrix}. \tag{49}$$

（5） 中性子数の期待値

$\langle N\rangle$ の New value $\langle N\rangle_{\rm new}$ は，次のように計算される．

$$\langle N\rangle_{\rm new}=[R_f+\gamma_f\langle\delta N\delta\theta\rangle]\Lambda_{f1}. \tag{50}$$

（6） 収束判定

$$\left|\frac{\langle N\rangle_{\rm new}-\langle N\rangle_{\rm old}}{\langle N_{\rm new}\rangle}\right|<\varepsilon \tag{51}$$

および

$$\left|\frac{\langle\delta N\delta\theta\rangle_{\rm new}-\langle\delta N\delta\theta\rangle_{\rm old}}{\langle\delta N\delta\theta\rangle_{\rm new}}\right|<\varepsilon. \tag{52}$$

判定条件 ε は，入力で与える．条件 (51)，(52) が同時に満足されなければ

$$\langle N\rangle_{\rm old}=\langle N\rangle_{\rm new}$$

$$\langle\delta N\delta\theta\rangle_{\rm old}=\langle\delta N\delta\theta\rangle_{\rm new}.$$

とおきかえて，(29) 式以降の計算を繰り返す．繰りし数 IT が，あらかじめ入力で与えた値 MIT を越えた場合には，くり返し計算をうちきる．

2.3 炉出力雑音スペクトル密度 (Subroutine PNOIS)

炉出力雑音スペクトル密度 $S_{po}(\omega)$ は，次式で与えられる．

$$S_{po}(\omega)=\varepsilon^2\Lambda_{f1}{}^2|T[i\omega]|^2I(\omega)+\varepsilon\Lambda_{f1}\langle N\rangle \tag{53}$$

特に2つの中性子検出器 a, b の出力の間の相互相関をとる場合には，検出過程に由来する白色雑音項はなくなり

$$S_{pab}(\omega)\propto|T[i\omega]|^2I(\omega) \tag{53'}$$

となる．

ここで

ε：検出器効率

$T[s]$：炉伝達関数（cf. 2.6 節）

入力雑音源 $I(\omega)$ は，それぞれ周波数依存性の異なる10ケの成分からできている．すなわち，

$$I(\omega)=\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=i}^{4}M^{(ij)}(\omega)[Q_B{}^{(ij)}+Q_2{}^{(ij)}]. \tag{54}$$

行列 Q の第 $(i-j)$ 要素を $Q^{(ij)}$ と表わした．関数 $M_{ij}(\omega)$ は，次のように定義される．

$$\begin{aligned}M^{(ij)}(\omega)&=|Gr^{(1i)}[i\omega]|^2/|Gr^{(11)}[i\omega]|^2\ ;\ \text{if } i=j\\&=2\times\text{Real Part of } |G_r{}^{(1i)}[i\omega]G_r{}^{(1j)}[-i\omega]|/|Gr^{(11)}[i\omega]|^2\ ;\ \text{otherwise.}\end{aligned} \tag{55}$$

行列 $G_r[i\omega]$ は，行列 $[i\omega U+L]$ の逆行列である．すなわち，

$$Gr[i\omega]=[i\omega U+L]^{-1}, \tag{56}$$

ただし，U は単位行列．

なお，炉伝達関数は，$Gr[i\omega]$ の第 (1-1) 要素に等しい．すなわち，

$$T[i\omega]=Gr^{(11)}[i\omega]/l, \tag{57}$$

ただし，l は平均の中性子寿命，すなわち，

$$l=[\Lambda_{f1}+\Lambda_{C1}]^{-1}.$$

関数 $M_{ij}(\omega)$ を定めるために，まず，次の関係式をみたす $p_1, p_2, \cdots\cdots, p_9$ および p_0, p_{11}, p_{12} を求める*.

$$\begin{cases}p_1+p_2=L^{(33)}+L^{(44)},\\p_1p_2=L^{(33)}L^{(44)}-L^{(34)}L^{(43)}.\end{cases} \tag{58}$$

$$\begin{cases}p_3+p_4=L^{(22)}+L^{(44)}+(L^{(22)}L^{(23)}-L^{(14)}L^{(43)})/L^{(13)},\\p_3p_4=L^{(22)}[L^{(44)}+(L^{(44)}L^{(23)}-L^{(14)}L^{(43)})/L^{(13)}].\end{cases} \tag{59}$$

$$\begin{cases}p_5+p_6=L^{(22)}+L^{(33)}-L^{(34)}L^{(13)}/L^{(14)}\\p_5p_6=L^{(22)}[L^{(33)}-L^{(34)}(L^{(13)}+L^{(23)}/L^{(14)}]\end{cases} \tag{60}$$

* 文献15に用いられている記号とコードで用いられている記号との対応関係は，次の通り．

in Code	in Ref. 15	in Code	in Ref. 15
p_1	p_3	p_7	p_1
p_2	p_4	p_8	p_2
p_3	p_5	p_9	p_9
p_4	p_6	p_0	p_0
p_5	p_7	p_{11}	p_1
p_6	p_8	p_{12}	p_2

$$\begin{cases} p_7+p_8=L^{(11)}+L^{(22)}, \\ p_7p_8=L^{(22)}[L^{(11)}+L^{(21)}]. \end{cases} \tag{61}$$

$$\begin{cases} p_9+p_0=L^{(22)}+L^{(11)}-L^{(31)}L^{(14)}/L^{(34)}, \\ p_9p_0=L^{(22)}[L^{(11)}+L^{(21)}-L^{(31)}L^{(14)}/L^{(34)}]. \end{cases} \tag{62}$$

$$\begin{cases} p_{11}=p_7, \\ p_{12}=p_8. \end{cases} \tag{63}$$

また，次の量を定義しておく

$$\begin{cases} a_{13}=L^{(43)}L^{(14)}-L^{(22)}L^{(23)}, \\ c_{13}=L^{(22)}[L^{(43)}L^{(14)}-L^{(23)}L^{(44)}]/a_{13}, \\ d_{13}=L^{(22)}[L^{(43)}L^{(14)}-L^{(23)}L^{(44)}]. \end{cases} \tag{64}$$

$$\begin{cases} a_{14}=L^{(34)}L^{(13)}, \\ c_{14}=L^{(22)}(1+L^{(23)}/L^{(13)}), \\ d_{14}=L^{(22)}L^{(34)}[L^{(13)}+L^{(23)}]. \end{cases} \tag{65}$$

$$\begin{cases} a_{442}=L^{(11)}+L^{(22)}+L^{(33)}, \\ a_{441}=L^{(22)}[L^{(11)}+L^{(33)}+L^{(21)}]+L^{(11)}L^{(33)}-L^{(13)}L^{(31)}, \\ a_{440}=L^{(22)}[L^{(11)}L^{(33)}-L^{(23)}L^{(31)}-L^{(13)}L^{(31)}+L^{(33)}L^{(21)}]. \end{cases} \tag{66}$$

温度係数の値によって，次の4つの場合にわける．

Case I. $t_{cf}\neq 0$ and $t_{cm}\neq 0$.

Case II. $t_{cf}=0$ and $t_{cm}\neq 0$.

Case III. $t_{cf}\neq 0$ and $t_{cm}=0$.

Case IV. $t_{cf}=t_{cm}=0$.

(1) Case I ($t_{cf}\neq 0$ かつ $t_{cm}\neq 0$)

$$M^{(11)}(\omega)=1, \tag{67}$$

$$M^{(12)}(\omega)=\frac{2\lambda^2}{\omega^2+\lambda^2}=2M^{(22)}(\omega), \tag{68}$$

$$\begin{aligned} M^{(13)}(\omega)=&-2L^{(13)}[\omega^4(\lambda+p_1+p_2-p_3-p_4)-\omega^2\lambda\{p_1p_2+p_3p_4-(p_1+p_2)(p_3+p_4)\} \\ &-\omega^2\{(p_1+p_2)p_3p_4-(p_3+p_4)p_1p_2\}+\lambda p_1p_2p_3p_4]/\mathrm{BUNBO}(\omega), \end{aligned} \tag{69}$$

ここで

$$\mathrm{BUNBO}(\omega)=(\omega^2+\lambda^2)(\omega^2+p_1^2)(\omega^2+p_2^2), \tag{70}$$

$$\begin{aligned} M^{(14)}(\omega)=&-2L^{(14)}[\omega^4(\lambda+p_1+p_2-p_5-p_6)-\omega^2\lambda\{p_1p_2+p_5p_6-(p_1+p_2)(p_5+p_6)\} \\ &-\omega^2\{(p_1+p_2)p_5p_6-(p_5+p_6)p_1p_2\}+\lambda p_1p_2p_5p_6]/\mathrm{BUNBO}(\omega), \end{aligned} \tag{71}$$

$$M^{(22)}(\omega)=\frac{\lambda^2}{\omega^2+\lambda^2}=\frac{1}{2}M^{(12)}(\omega), \tag{72}$$

$$M^{(23)}(\omega)=-2\lambda L^{(13)}[\omega^4-\omega^2\{p_1p_2+p_3p_4-(p_1+p_2)(p_3+p_4)\}+p_1p_2p_3p_4]/\mathrm{BUNBO}(\omega), \tag{73}$$

$$M^{(24)}(\omega)=-2\lambda L^{(14)}[\omega^4-\omega^2\{p_1p_2+p_5p_6-(p_1+p_2)(p_5+p_6)\}+p_1p_2p_5p_6]/\mathrm{BUNBO}(\omega), \tag{74}$$

$$M^{(33)}(\omega)=\frac{[L^{(13)}]^2(\omega^2+p_3^2)(\omega^2+p_4^2)}{\mathrm{BUNBO}(\omega)}, \tag{75}$$

$$M^{(34)}=2L^{(13)}L^{(14)}[\omega^4-\omega^2\{p_3p_4+p_5p_6-(p_3+p_4)(p_5+p_6)\}+p_3p_4p_5p_6]/\mathrm{BUNBO}(\omega), \tag{76}$$

$$M^{(44)}(\omega)=\frac{[L^{(14)}]^2(\omega^2+p_5^2)(\omega^2+p_6^2)}{\mathrm{BUNBO}(\omega)}. \tag{77}$$

（2） Case II （$t_{cf}=0$ かつ $t_{cm}\neq 0$）

以下，Case I と異なる場合のみ書き表わす．

$$M^{(13)}(\omega)\begin{cases} =-a_{13}[\omega^4-\omega^2\{\lambda(p_1+p_2-c_{13})\ ; \\ \quad -c_{13}(p_1+p_2)+p_1p_2\}-\lambda p_1p_2c_{13}]/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{13}\neq 0 \text{ の場合}, \\ =-d_{13}[\omega^2(\lambda+p_1+p_2)-\lambda p_1p_2/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{13}=0 \text{ の場合}. \end{cases} \tag{78}$$

$$M^{(23)}(\omega)\begin{cases} =a_{13}\lambda[\omega^2(p_1+p_2-c_{13})+p_1p_2c_{13}]/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{13}\neq 0 \text{ の場合}, \\ =-d_{13}\lambda[\omega^2-p_1p_2]/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{13}=0 \text{ の場合}. \end{cases} \tag{79}$$

$$M^{(33)}(\omega)\begin{cases} =a_{13}^2(\omega^2+c_{13}^2)/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{13}\neq 0 \text{ の場合}, \\ =d_{13}^2/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{13}=0 \text{ の場合}. \end{cases} \tag{80}$$

$$M^{(34)}(\omega)\begin{cases} =-a_{13}L^{(14)}[\omega^2(p_5+p_6-c_{13})+c_{13}p_5p_6]/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{13}\neq 0 \text{ の場合}, \\ =d_{13}L^{(14)}[\omega^2-p_5p_6]/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{13}=0 \text{ の場合}. \end{cases} \tag{81}$$

（3） Case III （$t_{cf}\neq 0$ かつ $t_{cm}=0$）

$$M^{(14)}(\omega)\begin{cases} =-a_{14}[\omega^4-\omega^2\{\lambda(p_1+p_2-c_{14}) \\ \quad -c_{14}(p_1+p_2)+p_1p_2\}-\lambda p_1p_2c_{14}]/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{14}\neq 0 \text{ の場合}, \\ =-d_{14}[\omega^2(\lambda+p_1+p_2)-\lambda p_1p_2]/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{14}=0 \text{ の場合}. \end{cases} \tag{82}$$

$$M^{(24)}(\omega)\begin{cases} =a_{14}\lambda[\omega^2(p_1+p_2-c_{14})+p_1p_2c_{14}]/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{14}\neq 0 \text{ の場合}, \\ =-d_{14}\lambda[\omega^2-p_1p_2]/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{14}=0 \text{ の場合}. \end{cases} \tag{83}$$

$$M^{(34)}(\omega)\begin{cases} =-a_{14}L^{(13)}[\omega^2(p_3+p_4-c_{14})+p_3p_4c_{14}]/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{14}\neq 0 \text{ の場合}, \\ =d_{14}L^{(13)}[\omega^2-p_3p_4]/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{14}=0 \text{ の場合}. \end{cases} \tag{84}$$

$$M^{(44)}(\omega)\begin{cases} =a_{14}^2(\omega^2+c_{14}^2)/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{14}\neq 0 \text{ の場合}, \\ =d_{14}^2/\mathrm{BUNBO}(\omega)\ ; & a_{14}=0 \text{ の場合}. \end{cases} \tag{85}$$

（4） Case IV （$t_{cf}=t_{cm}=0$）

$M^{(13)}(\omega)=$Eq. (78),

$M^{(14)}(\omega)=$Eq. (82),

$M^{(23)}(\omega)=$Eq. (79),

$M^{(24)}(\omega)=$Eq. (83),

$M^{(33)}(\omega)=$Eq. (80),

$$M^{(34)}(\omega)\begin{cases} =a_{13}a_{14}(\omega^2+c_{13}c_{14})/\mathrm{BUNBO}(\omega) & a_{13}\neq 0 \text{ かつ } a_{14}\neq 0 \text{ の場合}, \\ =a_{13}c_{13}d_{14}/\mathrm{BUNBO}(\omega) & a_{13}\neq 0 \text{ かつ } a_{14}=0 \text{ の場合}, \\ =a_{14}c_{14}d_{13}/\mathrm{BUNBO}(\omega) & a_{13}=0 \text{ かつ } a_{14}\neq 0 \text{ の場合}, \\ =d_{13}d_{14}/\mathrm{BUNBO}(\omega). & a_{13}=a_{14}=0 \text{ の場合}. \end{cases} \tag{86}$$

$M^{(44)}(\omega)=$Eq. (85).

2.4 燃料温度雑音スペクトル密度（Subroutine TFNOIS）

燃料温度雑音スペクトル密度 $S_{b\theta}(\omega)$ は，燃料体のもつ熱エネルギーのゆらぎのスペクトル密度に比例するものと仮定する．すなわち，

$$S_{p\theta}(\omega)\propto\int_{-\infty}^{\infty}d\tau\langle\delta\theta(\tau)\delta(\theta)\rangle e^{-i\omega\tau} \tag{87}$$

上式は，炉伝達関数を用いて，次のようは変形できる．

$$|T[i\omega]|^2 I_\theta(\omega) \tag{88}$$

この場合の入力雑音源 $I_\theta(\omega)$ は，次のように表わされる．

$$I_\theta(\omega)=\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=i}^{4}M_\theta^{(ij)}(\omega)[Q_B^{(ij)}+Q_2^{(ij)}], \tag{89}$$

ここで，

$$\begin{aligned}M_\theta^{(ij)}(\omega)&=|Gr^{(3i)}[i\omega]|^2/|Gr^{(11)}[i\omega]|^2\ ;\ \text{if}\ i=j,\\&=2\times\text{Real Part of}\ Gr^{(3i)}[i\omega]Gr^{(3j)}[-i\omega]/|Gr^{(11)}[i\omega]|^2\ ;\ \text{otherwise.}\end{aligned} \tag{90}$$

各成分毎に具体的に書くと次のようになる．

$$M_\theta^{(11)}(\omega)=[L^{(31)}]^2[\omega^2+\lambda^2][\omega^2+[L^{(44)}]^2]/\text{BUNBO}(\omega), \tag{91}$$

$$M_\theta^{(12)}(\omega)=2\lambda^2[L^{(31)}]^2[\omega^2+[L^{(44)}]^2]/\text{BUNBO}(\omega), \tag{92}$$

$$M_\theta^{(13)}(\omega)=-2L^{(31)}[\omega^2+[L^{(44)}]^2][\omega^2(p_7+p_8-\lambda)+\lambda p_7p_8]/\text{BUNBO}(\omega), \tag{93}$$

$$\begin{aligned}M_\theta^{(14)}(\omega)=&2L^{(31)}L^{(34)}[\omega^4-\omega^2\{\lambda(L^{(44)}-p_9-p_0)\\&-L^{(44)}(p_9+p_0)+p_9p_0\}+\lambda L^{(44)}p_9p_0]/\text{BUNBO}(\omega),\end{aligned} \tag{94}$$

$$M_\theta^{(22)}(\omega)=\frac{1}{2}M_\theta^{(12)}(\omega), \tag{95}$$

$$M_\theta^{(23)}(\omega)=2\lambda L^{(31)}[\omega^2+[L^{(44)}]^2][\omega^2-p_7p_8]/\text{BUNBO}(\omega), \tag{96}$$

$$M_\theta^{(24)}(\omega)=-2\lambda L^{(31)}L^{(34)}[\omega^2(L^{(44)}-p_9-p_0)-L^{(44)}p_9p_0]/\text{BUNBO}(\omega), \tag{97}$$

$$M_\theta^{(33)}(\omega)=[\omega^2+[L^{(44)}]^2][\omega^2+p_7^2][\omega^2+p_8^2]/\text{BUNBO}(\omega), \tag{98}$$

$$\begin{aligned}M_\theta^{(34)}(\omega)=&-2L^{(34)}[\omega^4(L^{(44)}+p_7+p_8-p_9-p_0)\\&-\omega^2\{L^{(44)}(p_7p_8-(p_7+p_8)(p_9+p_0)+p_9p_0)\\&-p_7p_8(p_9+p_0)+(p_7+p_8)p_9p_0\}\\&+L^{(44)}p_7p_8p_9p_0]/\text{BUNBO}(\omega),\end{aligned} \tag{99}$$

$$M_\theta^{(44)}(\omega)=[L^{(34)}]^2[\omega^2+p_9^2][\omega^2+p_0^2]/\text{BUNBO}(\omega), \tag{100}$$

2.5 減速材温度雑音スペクトル密度（Subroutine TMNOIS）

減速材温度については，燃料温度の場合に平行した定義を用いる．すなわち，スペクトル密度

$$\begin{aligned}S_{p\theta_m}(\omega)&\propto\int_{-\infty}^{\infty}d\tau\langle\delta\theta_m(\tau)\delta\theta_m(0)\rangle e^{-i\omega\tau}\\&\propto|T[i\omega]|^2 I_{\theta m}(\omega)\end{aligned} \tag{101}$$

ここで，入力雑音源スペクトル密度

$$I_{\theta m}(\omega)=\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=i}^{4}M_{\theta m}^{(ij)}(\omega)[Q_B^{(ij)}+Q_2^{(ij)}], \tag{102}$$

ただし

$$\begin{aligned}M_{\theta m}^{(ij)}(\omega)&=|Gr^{(4i)}[i\omega]|^2/|Gr^{(11)}[i\omega]|^2\ ;\ \text{if}\ i=j\\&=2\times\text{Real Part of}\ Gr^{(4i)}[i\omega]Gr^{(4j)}[-i\omega]/|Gr^{(11)}[i\omega]|^2\ ;\ \text{otherwise.}\end{aligned} \tag{103}$$

各成分の周波数依存は，次のようになる．

$$M_{\theta m}^{(11)}(\omega)=[L^{(31)}L^{(43)}]^2(\omega^2+\lambda^2)/\text{BUNBO}(\omega), \tag{104}$$

$$M_{\theta m}^{(12)}(\omega)=2\lambda L^{(31)}[L^{(34)}]^2/\text{BUNBO}(\omega), \tag{105}$$

$$M_{\theta m}^{(13)}(\omega)=2L^{(31)}[L^{(43)}]^2[\omega^2(\lambda-p_7-p_8)-\lambda p_7p_8]/\text{BUNBO}(\omega), \tag{106}$$

$$M_{\theta m}{}^{(14)}(\omega)=-2L^{(31)}L^{(43)}[\omega^4+\omega^2(\lambda a_{442}-a_{441})-\lambda a_{440}]/\mathrm{BUNBO}(\omega), \tag{107}$$

$$M_{\theta m}{}^{(22)}(\omega)=\frac{1}{2}M_{\theta m}{}^{(12)}(\omega), \tag{108}$$

$$M_{\theta m}{}^{(23)}(\omega)=2\lambda L^{(31)}[L^{(43)}]^2[\omega^2-p_7-p_8]/\mathrm{BUNBO}(\omega), \tag{109}$$

$$M_{\theta m}{}^{(24)}(\omega)=2\lambda L^{(31)}L^{(43)}[\omega^2 a_{442}-a_{440}]/\mathrm{BUNBO}(\omega), \tag{110}$$

$$M_{\theta m}{}^{(33)}(\omega)=[L^{(43)}]^2[\omega^2+p_7{}^2][\omega^2+p_8{}^2]/\mathrm{BUNBO}(\omega), \tag{111}$$

$$\begin{aligned}M_{\theta m}{}^{(34)}(\omega)=&-2L^{(43)}[\omega^4(a_{442}-p_7-p_8)\\&-\omega^2\{a_{440}-a_{441}(p_7+p_8)+a_{442}p_7p_8\}\\&+a_{440}p_7p_8]/\mathrm{BUNBO}(\omega),\end{aligned} \tag{112}$$

$$M_{\theta m}{}^{(44)}(\omega)=[(\omega^2 a_{442}-a_{440})^2+(\omega^3-\omega a_{441})^2]/\mathrm{BUNBO}(\omega). \tag{113}$$

2.6 伝達関数のゲイン (Subroutine TRANSF)

Eq. (57) で定義した伝達関数のゲインは，次のように計算される．

$$|T[i\omega]|^2=\frac{[\omega^2+\lambda^2][\omega^2+p_1{}^2][\omega^2+p_2{}^2]}{(R^2+I^2)l^2} \tag{114}$$

ここで*

$$R^2+I^2=|i\omega U+L|^2=[\omega^4-\omega^2c_2+c_0]^2+[\omega^3c_3-\omega c_1]^2, \tag{115}$$

$$c_3=L^{(11)}+L^{(22)}+L^{(33)}+L^{(44)}, \tag{116}$$

$$\begin{aligned}c_2=&[L^{(11)}+L^{(22)}][L^{(33)}+L^{(44)}]+L^{(11)}L^{(22)}\\&+L^{(33)}L^{(44)}-L^{(12)}L^{(21)}-L^{(34)}L^{(43)}-L^{(13)}L^{(31)},\end{aligned} \tag{117}$$

$$\begin{aligned}c_1=&[L^{(11)}+L^{(22)}][L^{(33)}L^{(44)}-L^{(34)}L^{(43)}]\\&+[L^{(33)}+L^{(44)}][L^{(11)}L^{(22)}-L^{(12)}L^{(21)}]\\&+L^{(31)}[L^{(12)}L^{(23)}-L^{(13)}L^{(22)}-L^{(13)}L^{(44)}+L^{(14)}L^{(43)}],\end{aligned} \tag{118}$$

$$\begin{aligned}c_0=&[L^{(11)}L^{(22)}-L^{(12)}L^{(21)}][L^{(33)}L^{(44)}-L^{(34)}L^{(43)}]\\&+L^{(31)}L^{(44)}[L^{(12)}L^{(23)}-L^{(13)}L^{(22)}]\\&+L^{(14)}L^{(22)}L^{(31)}L^{(43)}.\end{aligned} \tag{119}$$

(114) 式はまた，次のようにも表わせる．

$$|T[i\omega]|^2=\left|\frac{T_0[i\omega]}{1-T_0[i\omega]T_F[i\omega]}\right|^2. \tag{120}$$

ここで，$T_0[s]$，$T_F[s]$ は，それぞれ零出力炉伝達関数，フィード・バック・ループの伝達関数であり，次のように与えられる．

$$T_0[s]=\frac{1}{s\left(l+\dfrac{\beta k}{s+\lambda}\right)+1-k}, \tag{121}$$

$$\begin{aligned}T_F[s]=&k\frac{P_0}{C_f}\frac{s+K/C_m+1/\tau_m}{(s+p_1)(s+p_2)}\\&\times\left[t_{cf}\left(1-\frac{\rho\langle\nu\rangle}{1-(1-\rho)\langle\nu\rangle}\frac{t_{cff}}{t_{cf}}+\frac{\beta\langle\nu\rangle}{1-(1-\rho)\langle\nu\rangle}\frac{t_{cff}}{t_{cf}}\frac{s}{s+\lambda}\right)\right.\\&\left.+t_{cm}\frac{K/C_m}{s+K/C_m+1/\tau_m}\right].\end{aligned} \tag{122}$$

---

* この計算は，田次邑吉氏のお世話になった．

3. コードの構成

Fig. 2 に NESAP Code の構成を示す.

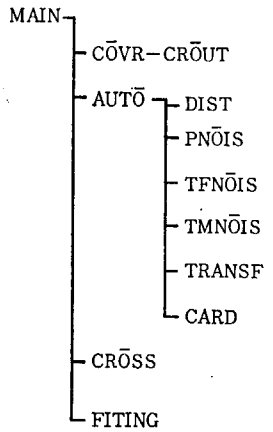

Fig. 2 Tree structure of the NESAP-2 Code

◎ MAIN　入力データの読み込み.
Subroutine の呼び出しをおこなう.

◎ COVR　繰返し法により，平均値および分散の値を定める.

・CROUT　連立一次方程式 (49) の解を求める.

◎ AUTO　(自己)スペクトル密度の計算をおこなう.
6つの Subroutine を含む. すなわち,

・PNOIS　(炉出力雑音スペクトル密度の算出)

・TFNOIS　(燃料温度雑音スペクトル密度の算出)

・TMNOIS　(冷却材温度雑音スペクトル密度の算出)

・DIST　(外乱による雑音源スペクトル密度の寄与の算出，付録 III 参照のこと)

・TRANSF　(伝達関数のゲインの2乗の算出)

・CARD　(以上の計算結果をカードで打ちだし，プロット用プログラム NESPL の入力カードとする.)

◎ CROSS　相互スペクトル密度の計算をおこなう. 計算機の容量が足りないので，現在この部分は NASAP-2-CROSS として独立させている.

◎ FITING　炉雑音スペトル密度の測定値と伝達関数の絶対値の2乗に対する測定値の比として，入力雑音源 $I_M(\omega)$ が与えられているものとする. i の $I_M(\omega)$ は(54)式から明らかなように10箇の成分 $M_{ij}(\omega)$ $Q^{(ij)}$ の和と考えられる. $Q^{(ij)}$ は，未知量 $\langle\mu^2\rangle$, $\langle\nu\mu\rangle$ を含んでいる. FITING では，最小自乗法を用いてこれらの未知量を定め，実験値 $I_M(\omega)$ を再現する. たとえば，炉出力雑音の入力源スペクトル密度が与えられた時，未知パラメータ a_1, a_2, …を用いて

$$I(\omega)=[a_1\langle\nu_p(\nu_p-1)\rangle\langle\Lambda_f N\rangle M^{(11)}(\omega)+a_2\langle\nu_p\nu_d\rangle\langle\Lambda_f N\rangle M^{(12)}(\omega)$$

$$+a_3\langle\nu_p\nu_f\rangle\langle\Lambda_f N\rangle M^{(13)}(\omega)+a_4\langle\nu_d(\nu_d-1)\rangle\langle\Lambda_f N\rangle M^{(22)}(\omega)$$
$$+a_5\langle\nu_d\mu_f\rangle\langle\Lambda_f N\rangle M^{(23)}(\omega)+a_6\langle\mu_f^2\rangle\langle\Lambda_f N\rangle M^{(33)}(\omega)$$
$$+\left\{a_7\frac{\langle\mu_f\rangle}{\langle\mu_t\rangle}\langle\mu_t^2\rangle\lambda_t\langle\theta\rangle+a_7\frac{\langle\mu_f\rangle}{\langle\mu_m\rangle}\langle\mu_m^2\rangle\lambda_m(\theta_m\rangle\right\}\times\{M^{(33)}(\omega)-M^{(34)}(\omega)+M^{(44)}(\omega)\}$$
$$+\left[a_8\frac{\langle\mu_f\rangle}{\langle\mu_r\rangle}\langle\mu_r^2\rangle\lambda_r\langle\theta_m\rangle M^{(44)}(\omega)\right]\times W_s a_9 \qquad (120)^*$$

とおき，

$$S_a=\sum_{i=1}^{III}W|I_M(\nu_i)-I(\nu_i)|^2 \qquad (121)$$

が最小になるようなパラメータ $a_1, a_2\cdots, a_9$ を定める**．ここで，III は測定データの総数であり，また W, W_s は overflow をさけるための scaling factors である．通常

$$a_1=a_2=a_3=a_4=a_5=a_6=1$$

と，固定しておき，a_7, a_8 および a_9 を求める．この時，a_7 は物理的には，$\langle\mu_t\rangle/\langle\mu_f\rangle(=\langle\mu_m\rangle/\langle\mu_f\rangle)$ を表わし，a_8 は $\langle\mu_r\rangle/\langle\mu_f\rangle$ を表わす．なお，a_9 は scaling factor である．

計算機の記憶容量が足りないので現在，この部分は NESFIT コード*** (cf. 付録 V) として独立させており，FITING ルーチンは，ダミーになっている．

なお，本コードでは，オプション NPUNSO (I) および，NPUNSP (I) を用いて，計算結果をカードにパンチさせることができる．この出力カードは，Graphic Plotter を働かせるためのコード NESPL (cf. 付録 IV) の入力カードとして用いることができる．

---

* 熱伝達 Scheme II の場合である．Scheme I についても同様に，処理できる．
** 燃料温度雑音，冷却材温度雑音の場合には，$M(\omega)$ がそれぞれ，$M_\theta(\omega)$，$M_{\theta_m}(\omega)$ に変わる．
*** 最小自乗法の解法については文献 (24) を参照されたい．

4. 入力形式 (Input Data)

♯ 01 format (12A6) Problem identification.

♯ 02 format (815)

NP : Number of subproblems.
NCPS : Number of frequency points ≤ 100.
NORM : Normalization point at the frequency region.
MIT : Max. number of iteration in the subroutine COVR.
NTRAN : Option ; If NTRAN $\neq 0$, the amplitude of the transfer function is given as input data.
NTV : Option ; If NTV $\neq 0$, means and covariances are written at each iteration in the subroutine COVR.
IDIST : Option ; If IDIST $\neq 0$, external disturbance to the noise source matrix Q is taken into account (cf. Appendix Ⅲ).
ISCHEM : Option ; Put ISCHEM=1, when the stochastic model (SM) of heat transfer is the scheme I*.
Put ISCHEM=2 (or 0), when the SM is the scheme Ⅱ*.

♯ 03 format (E 12.5)

EPSI : Convergence criterion (cf. Eq. (51) & Eq. (52)).

♯ 04 format (2E 12.5)

P : Reactor power (arbitrary unit).
SN : Extraneous source strength (sec^{-1}).

♯ 05 format (3E 12.5)

t_{cfc} : Reactivity coefficient of fuel temperature feedback through the capture cross section ($\Delta k/k/C°$).
t_{cff} : Reactivity coefficient of fuel temperature feedback through the fission cross section ($\Delta k/k/C°$).
t_{cm} : Reactivity coefficient of moderator temperature feedback ($\Delta k/k/C°$).

♯ 06 format (2E12.5)

C_f : Heat capacity of the fuel (arbitrary unit).
C_m : Heat capacity of the moderator (arbitrary unit).

♯ 07 format (6E12.5)

Λ_f : Fission rate per neutron ($=v\Sigma_f$) (sec^{-1}).
ρ : Reactivity (dollars).
λ : Decay constant of precursors (sec^{-1}).
K/C_f : Relaxation constant of the fuel temperature (sec^{-1}).
K/C_m : Relaxation constant of the moderator temperature (sec^{-1}).
$1/\tau_m$: Removal rate of the moderator energy (e. g., the coolant speed divided by the coolant channel height) (sec^{-1}).

♯ 08 format (3E12.5)

$\langle\nu\rangle$: The mean number of secondary particles (neutrons plus precursors) emitted by a fission.
β : The probable fraction of precursors.
$\langle\mu_f\rangle$: The mean energy emitted by a fission (arbitrary unit).

♯ 09 format (3E12.5)

$\langle\nu_p(\nu_p-1)\rangle/\langle\nu\rangle^2$
$\langle\nu_p\nu_d\rangle/\langle\nu\rangle^2$
$\langle\nu_d(\nu_d-1)\rangle/\langle\nu\rangle^2$

---

* cf. TABLE 1

10 format (6E12.5)

$\chi_{ff} = \langle \mu_f^2 \rangle / \langle \mu_f \rangle^2$.

$\chi_{tt} = \langle \mu_t^2 \rangle / \langle \mu_t \rangle^2$.

$\chi_{mm} = \langle \mu_m^2 \rangle / \langle \mu_m \rangle^2$.

$\chi_{rr} = \langle \mu_r^2 \rangle / \langle \mu_r \rangle^2$.

$\chi_{pf} = \langle \mu_p \mu_f \rangle / [\langle \nu \rangle \langle \mu_f \rangle]$.

$\chi_{df} = \langle \nu_d \mu_f \rangle / [\langle \nu \rangle \langle \mu_f \rangle]$.

11 format (6E12.5) (CPS(I), I=1, NCPS) Values of frequency.

Only if NTRAN=0, the following # 12 data are necessary.

12 format (6E12.5) (TRANS(I), i=1, NCPS)

Amplitude of the transfer function.

13 format (815) (NOPT(I), I=1,4) Options for calculation* :

If NOPT(1)≠0, only the covariances are calculated.

If NOPT(2)≠0, the power noise spectrum is calculated.

If NOPT(3)≠0, the fuel temperature noise spectrum is calculated.

If NOPT(4)≠0, the moderator temperature noise spectrum is calculated.

14 format (715) (NPUNSO(I), I=1,4) Options for output by cards* :

If NPUNSO(1)≠0, the output data is normalized.

If NPUNSO(2)≠0, the input noise source (INS) to the power noise is output by cards.

If NPUNSO(3)≠0, the INS to the fuel temperature noise is output by cards.

If NPUNSO(4)≠0, the INS to the moderator temperature noise is output by cards.

15 format (7I5) (NPUNSP(I), I=1,4)

Options for output by cards* :

If NPUNSP(1)≠0, the square modulus of the transfer function is output by cards.

If NPUNSP(2)≠0, the power noise spectrum is output by cards.

If NPUNSP(3)≠0, the fuel temperature noise spectrum is output by cards.

If NPUNSP(4)≠0, the moderator temperature noise spectrum is output by cards.

The number of sets of the following two cards should be NP.

16 format (12A6) Subtitle.

17 format (3E12.5)

RT $= \langle \mu_t \rangle / \langle \mu_f \rangle$.

RM $= \langle \mu_m \rangle / \langle \mu_f \rangle$.

RR $= \langle \mu_r \rangle / \langle \mu_f \rangle$.

TABLE 2. NESAP options

I	NOPT (I) ≠ 0 the code calculates	If NPUNSO (I) ≠ 0, the code outputs the cards of	If NPUNSO (I) ≠ 0 the code outputs the cards of
1	only the covariances	*	$\lvert T[i\omega] \rvert^2$
2	$S_{pab}(\omega)$	$I(\omega)$ to $S_{pab}(\omega)$	$S_{pab}(\omega)$
3	$S_{p\theta}(\omega)$	$I(\omega)$ to $S_{p\theta}(\omega)$	$S_{p\theta}(\omega)$
4	$S_{p\theta m}(\omega)$	$I(\omega)$ to $S_{p\theta m}(\omega)$	$S_{p\theta m}(\omega)$

* If NPUNSP (1) ≠ 0, the output cards of $I(\omega)$ have the normalized data.

* cf. TABLE 2

5. 出力形式 (Output)

5.1 リスト (List)

01 List of input data such as problem identification, value of $\langle\mu_f\rangle$, t_{cfc}, t_{cff}, t_{cm}, C_f, C_m, Λ_f, P, Λ, K/C_f, K/C_m, $1/\tau_m$, $\langle\nu\rangle$, β, $\langle\nu_p(\nu_p-1)\rangle/\langle\nu\rangle^2$, $\langle\nu_p\nu_d\rangle/\langle\nu\rangle^2$, $\langle\nu_d(\nu_d-1)\rangle/\langle\nu\rangle^2$, χ_{ff}, χ_{tt}, χ_{mm}, χ_{rr}, χ_{pf}, χ_{df}, name of subtitle, power level, S, $\langle\mu_t\rangle/\langle\mu_f\rangle$, $\langle\mu_m\rangle/\langle\mu_f\rangle$ and $\langle\mu_r\rangle/\langle\mu_f\rangle$.

10 If NTV $\neq 0$, the following list of data is obtained at every iteration :

- Number of iteration in the subroutine COVR.
- New value of number of neutrons $\langle N\rangle_{\text{new}}$.
- Fractional error$=|\langle N\rangle_{\text{new}}-\langle N\rangle_{\text{old}}|/\langle N\rangle_{\text{new}}$.
- New covariance $\langle N\theta\rangle_{\text{new}}$.
- Fractional error$=|\langle N\theta\rangle_{\text{new}}-\langle N\theta\rangle_{\text{old}}|/\langle N\theta\rangle_{\text{new}}$.
- New covariance matrix

11 Output of converged value of

- Operator matrix, L.
- Mean $\langle N\rangle$, $\langle C\rangle$, $\langle\theta\rangle$, $\langle\theta_m\rangle$
- Covariance $\langle N^2\rangle-\langle N\rangle^2$, $\langle NC\rangle-\langle N\rangle\langle C\rangle$, etc.
- Normal covariance, $\dfrac{\langle N^2\rangle-\langle N\rangle^2}{\langle N\rangle^2}$, $\dfrac{\langle NC\rangle-\langle N\rangle\langle C\rangle}{\langle N\rangle\langle C\rangle}$ etc.
- $k=1/(1-\rho\beta)$, where ρ and β are input. (122)
- $k_r=\dfrac{\langle\nu\rangle\langle\Lambda_f N\rangle}{\langle\Lambda_f N\rangle+\langle\Lambda_c N\rangle}$ (123)

20 If NOPT(2)$\neq 0$, we have a list of the normalized and the unnormalized values of input noise source

<u>$I(\omega)$ given by Eq. (54)</u>

for each point of angular frequency.

21 If NOPT(2)$\neq 0$, we have a list of values of

<u>$M^{(ij)}(\omega)$ given by Eq. (55)</u>

and the value of

$$I_{tm}(\omega)=M^{(33)}(\omega)Q_{BT}{}^{(33)}+M^{(34)}(\omega)Q_{BT}{}^{(34)}+M^{(44)}(\omega)Q_{BT}{}^{(44)} \tag{124}$$

normalized to unity at ω_N=CPS (NORM).

The matrix Q_{BT} will be defined by Eq. (129).

22 If NOPT(2)$\neq 0$, we have a list of fractional contribution of each noise source component to the total noise source $I(\omega)$ at the normalization point, i. e.,

- $M^{(ij)}(\omega_N)Q_{BF}{}^{(ij)}/I(\omega_N)$, (125)
- $M^{(ij)}(\omega_N)Q_{BT}{}^{(ij)}/I(\omega_N)$, (126)
- $M^{(ij)}(\omega_N)Q_{BR}{}^{(ij)}/I(\omega_N)$, (127)
- $M^{(ij)}(\omega_N)Q_2{}^{(ij)}/I(\omega_N)$, (128)

  and
- $M^{(ij)}(\omega_N)(Q_B{}^{(ij)}+Q_2{}^{(ij)})/I(\omega_N)$, (129)

where matrices Q_{BT} and Q_{BR} are given by

$$Q_{BT}=\begin{pmatrix} 0, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & q_{BT}, & -q_{BT} \\ 0, & 0, & -q_{BT}, & q_{BT} \end{pmatrix} \tag{130}$$

$$Q_{BR}=\begin{pmatrix} 0, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & q_{BR} \end{pmatrix} \tag{131}$$

with

$$q_{BT}=\langle\mu_t\rangle\chi_{tt}P \text{ ; for Scheme I *,} \tag{132}$$

$$=\langle\mu_t^2\rangle\lambda_t\langle\theta\rangle+\langle\mu_m^2\rangle\lambda_m\langle\theta_m\rangle \text{ ; for Scheme II *,}$$

$$q_{BR}=\langle\mu_r^2\rangle\lambda_r\langle\theta_m\rangle, \tag{133}$$

while Q_{BF} is defined as follow :

$$Q_{BF}=Q_B-Q_{BT}-Q_{BR}. \tag{134}$$

30 If NOPT(3)≠0, we have a list of the normalized and the unnormalized values of input noise source

$I_\theta(\omega)$ given by Eq. (88)

for each point of angular frequency.

31 If NOPT(3) • 0, we have a list of values of

$M_\theta^{(ij)}(\omega)$ given by Eq. (89)

and the value of

$$I_{\theta tm}(\omega)=M_\theta^{(33)}(\omega)Q_{BT}^{(33)}+M_\theta^{(34)}(\omega)Q_{BT}^{(34)}+M_\theta^{(44)}(\omega)Q_{BT}^{(44)} \tag{135}$$

normalized to unity at ω_N=CPS(NORM).

32 If NOPT(3)≠0, we have a list of fractional contribution of each noise source component to the total noise source $I_\theta(\omega)$, i. e.,

- $M_\theta^{(ij)}(\omega_N)Q_{BF}^{(ij)}/I_\theta(\omega_N)$, (136)
- $M_\theta^{(ij)}(\omega_N)Q_{BT}^{(ij)}/I_\theta(\omega_N)$, (137)
- $M_\theta^{(ij)}(\omega_N)Q_{BR}^{(ij)}/I_\theta(\omega_N)$, (138)
- $M_\theta^{(ij)}(\omega_N)Q_2^{(ij)}/I_\theta(\omega_N)$, (139)

and

- $M_\theta^{(ij)}(\omega_N)[Q_B^{(ij)}+Q_2^{(ij)}]/I_\theta(\omega_N)$. (140)

40 If NOPT(4)≠0, we have a list of the normalized and the unnormalized values of input noise source

$I_{\theta m}(\omega)$ given by Eq. (102)

for each point of angular frequency.

41 If NOPT(4)=0, we have a list of values of

$M_{\theta m}^{(ij)}(\omega)$ given by Eq. (103)

and the value of

$$I_{\theta mtm}(\omega)=M_{\theta m}^{(33)}(\omega)Q_{BT}^{(33)}+M_{\theta m}^{(34)}(\omega)Q_{BT}^{(34)}+M_{\theta m}^{(44)}(\omega)Q_{BT}^{(44)} \tag{141}$$

---

* cf. TABLE 1

normalized to unity at ω_N=CPS(NORM).

42 If NOPT(4)≠0, we have a list of fractional contribution of each noise source component to the total noise source $I_{\theta m}(\omega)$, i.e.,

- $M_{\theta m}^{(ij)}(\omega_N)Q_{BF}^{(ij)}/I_{\theta m}(\omega_N)$, (142)
- $M_{\theta m}^{(ij)}(\omega_N)Q_{BT}^{(ij)}/I_{\theta m}(\omega_N)$, (143)
- $M_{\theta m}^{(ij)}(\omega_N)Q_{BR}^{(ij)}/I_{\theta m}(\omega_N)$, (144)
- $M_{\theta m}^{(ij)}(\omega_N)Q_2^{(ij)}/I_{\theta m}(\omega_N)$, (145)

and

- $M_{\theta m}^{(ij)}(\omega_N)[Q_B^{(ij)}+Q_2^{(ij)}]/I_{\theta m}(\omega_N)$. (146)

50 Normalized noise spectra and square modulus of source transfer function, i.e.,

- Power noise, $|T[i\omega]|^2 I(\omega)$.
- Fuel temperature noise, $|T[i\omega]|^2 I_\theta(\omega)$.
- Moderator temperature noise, $|T[i\omega]|^2 I_\theta(\omega)$.
- Transfer function, $|T[i\omega]|^2$.
- Zero-power transfer function, $|T_0[i\omega]|^2$.

5.2. カード (output by cards)

101 If NPUNSO(2)≠0, we have a set of cards where the noise source to the power noise is punched.

a) • FREQUENCY (CPS) ; format (15H).
   • $\omega_i(i=1, \text{NCPS})$; format (6E12.5).

b) • TOTAL NOISE SOURCE TO POWER NOISE ; format (33H).
   • $I(\omega_i)$ given by Eq. (54) (normalized at ω=CPS(NORM) ; format (6E12.5).

c) • N-N, N-C AND C-C ; format (16H).
   • Sum** of
     $M^{(11)}(\omega_i)Q_{BF}^{(11)}$
     $M^{(12)}(\omega_i)Q_{BF}^{(12)}$
   and
     $M^{(22)}(\omega_i)Q_{BF}^{(22)}$, (i=1, NCPS) ; format (6E12.5).

d) • N-FF AND N-CF ; format (14H).
   • Sum** of
     $M^{(13)}(\omega_i)Q_{BF}^{(13)}$
   and
     $M^{(23)}(\omega_i)Q_{BF}^{(23)}$.

e) • KAI F-F ; format (8H)
   • Value** of $M^{(33)}(\omega_i)Q_{BF}^{(33)}$; format (6E12.5).

f) • KAI T-T AND M-M ; format (16H).
   • Sum** of
     $M^{(33)}(\omega_i)Q_{BT}^{(33)}$
     $M^{(34)}(\omega_i)Q_{BT}^{(34)}$
   and
     $M^{(43)}(\omega_i)Q_{BT}^{(43)}$: format (6E12.5).

g) • KAI R-R ; format (8H).
   • Value** of $M^{(44)}(\omega_i)Q_{BR}^{(44)}$; format (6E12.5).

h) • SECOND MOMENT ; format (14H).

** This data is normalized, if NPUNSO(1)≠0

- Value** of

$$\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{4} M^{(ij)}(\omega_i)Q_2^{(ij)}$$; format (6E12.5).

102 If NPUNSO(3)≠0, we have a set of cards where the noise source to the fuel temperature are punched.

a) • FREQUENCY (CPS) ; format (15H).
- ω_i(i=1, NCPS) ; format (6E12.5).

b) • TOTAL NOISE SOURCE TO FUEL TEMPERATURE NOISE ; format (44H).
- $I_\theta(\omega_i)$ given by Eq. (88)
  (normalized at ω=CPS (NORM)) ; format (6E12.5).

c) • N-N, N-C AND C-C ; format (16H).
- Sum** of
  $M_\theta^{(11)}(\omega_i)Q_{BF}^{(11)}$
  $M_\theta^{(12)}(\omega_i)Q_{BF}^{(12)}$
  and
  $M_\theta^{(22)}(\omega_i)Q_{BF}^{(22)}$, i=1, NCPS : format (6E12.5).

d) • N-TF AND N-CF ; format (14H).
- Sum** of
  $M^{(13)}(\omega_i)Q_{BF}^{(13)}$
  and
  $M_\theta^{(23)}(\omega_i)Q_{BF}^{(23)}$; format (6E12.5).

e) • KAI F-F ; format (8H).
- Value** of $M_\theta^{(33)}(\omega_i)Q_{BF}^{(33)}$; format (6F12.5).

f) • KAI T-T AND M-M ; format (16H).
- Sum** of
  $M_\theta^{(33)}(\omega_i)Q_{BT}^{(33)}$
  $M_\theta^{(34)}(\omega_i)Q_{BT}^{(34)}$
  and
  $M_\theta^{(43)}(\omega_i)Q_{BT}^{(43)}$; format (6E12.5).

g) • KAI R-R ; format (8H).
- Value** of $M_\theta^{(44)}(\omega_i)Q_{BR}^{(44)}$; format (6E12.5).

h) • SECOND MOMENT ; format (14H).
- Value** of

$$\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{4} M_\theta^{(ij)}(\omega_i)Q_2^{(ij)}$$; format (6E12.5).

103 If NPUNSO(4)≠0, we have a set of cards where the noise source to the coolant temperature noise is punched.

a) • FREQUENCY (CPS) ; format (15H).
- ω_i(i=1, NCPS) ; format (6E12.5).

b) • TOTAL NOISE SOURCE TO COOLANT TEMPERATURE NOISE ; format (147H).
- $I_{\theta m}(\omega_i)$given by Eq. (102)
  (normalized at ω=CPS(NORM)) ; format (6E12.5).

c) • N-N, N-C AND C-C ; format (16H).
- Sum** of
  $M_{\theta m}^{(11)}(\omega_i)Q_{BF}^{(11)}$
  $M_{\theta m}^{(12)}(\omega_i)Q_{BF}^{(12)}$
  and
  $M_{\theta m}^{(22)}(\omega_i)Q_{BF}^{(22)}$, ($i$=1, NCPS) ; format (6E12.5).

d) ・N-TF AND N-CF ; format (14H).
・Sum** of
$M_{\theta m}^{(13)}(\omega_i)Q_{BF}^{(13)}$
and
$M_{\theta m}^{(23)}(\omega_i)Q_{BF}^{(23)}$; format (6E12.5).

e) ・KAI F-F ; format (8H).
・Value** of $M_{\theta m}^{(33)}(\omega_i)Q_{BF}^{(33)}$; format (6E12.5).

f) ・KAI T-T AND M-M ; format (16H).
・Sum** of
$M_{\theta m}^{(33)}(\omega_i)Q_{BT}^{(33)}$
$M_{\theta m}^{(34)}(\omega_i)Q_{BT}^{(34)}$
and
$M_{\theta m}^{(43)}(\omega_i)Q_{BT}^{(43)}$; format (6E12.5).

g) ・KAI R-R ; format (8H).
・Value** of $M_{\theta m}^{(44)}(\omega_i)Q_{BR}^{(44)}$; format (6E12.5).

h) ・SECOND MOMENT ; format (14H).
・Value** of

$$\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=1}^{4} M_{\theta m}^{(ij)}(\omega_i)Q_2^{(ij)}$$; format (6E12.5).

104 If NPUNSP(1)≠0, the square modulus of the transfer function (normalized) is punched out.

a) ・FREQUENCY (CPS) ; format (15H).
・ω_i (i=1, NCPS) ; format (6E12.5).

b) ・TRANSFER FUNCTION ; format (30H).
・$|T[j\omega_i]|^2$(i=1, NCPS)* ; format (6E12.5).

105 If NPUNSP(2)≠0, the noise spectrum of the power level is punched out.

a) ・Frequency(CPS) ; format (15H).
・ω_i(i=1, NCPS) ; format (6E12.5).

b) ・NOISE SPECTRUM N-N COMPONENT (NORMALIZED) ; format (42H).
・$|T[j\omega_i]|^2 I(\omega_i)$, ($i$=1, NCPS) ; format (6E12.5).

106 If NPUNSP(3)≠0, the noise spectrum of the fuel temperature is punched out.

a) ・FREQUENCY(CPS) ; format (15H).
・ω_i(i=1, NCPS) ; format (6E12.5).

b) ・NOISE SPECTRUM EF-EF COMPONENT (NORMALIZED) ; format (43H).
・$|T[j\omega_i]|^2 I_\theta(\omega_i)$, ($i$=1, NCPS)* ; format (6E12.5).

107 If NPUNSP(4)≠0, the noise spectrum of the coolant temperature is punched out.

a) ・FREQUENCY (CPS) ; format (15H).
・ω_i(i=1, NCPS) ; format (6E12.5).

b) ・NOISE SPECTRUM EM-EM COMPONENT (NORMALIZED) ; format (43H).
・$|T[j\omega_i]|^2 I_{\theta m}(\omega_i)$, ($i$=1, NCPS)* ; format (6E12.5).

---

* 混乱をさけるために，今まで用いてきた虚数記号 i の代りに j を用いた．すなわち，
$j=\sqrt{-1}$
である．

謝　辞

計算センター掘上邦彦氏および藤村統一郎氏の作成された Subroutine CROUT および LOGLG 3, LINER 1, SCLINE を本コードでは使用している．また，最小自乗法によるフィットをおこなう NESFIT コードでは計算センター小林健介氏等が整備された WESTCOTT コードを使用している．核設計研究室鈴木友雄氏には，プログラム作成上お世話いただいた．また田沢邑吉氏には，伝達関数の計算をお願いした．小栗謙氏（東工大）には，DIST のコーディングをしていただいた．謝意を表します．

1969 年 5 月 10 日

文　献

1) GRIFFIN C. W. and RANDALL R. L. : "At-Power, Low Frequency, Reactor-Power-Spectrum Measurements and Comparison with Osicllation Measurements", *Nucl. Sci. Eng.*, **15**, 131 (1963).
2) YAMADA S. : "Reactor Noise Analysis of Swimming Pool Type Reactor", *J. Nucl. Sci. Technol.* (*Tokyo*), **1**, 130 (1964).
3) BENTLEY P. G. and BURTON, E. J. : "The Measurement and Analysis of Can Temperature Fluctuations in Chapelcross Reactors", *J. Nucl. Eng., parts A/B*, **19**, 313 (1965).
4) STEPHENSON, S., ROUX D. P. and FRY D. N : "Neutron Fluctuation Spectra in the Oak Ridge Research Reactor", ORNL-TM-1401 (1966).
5) UTSURO M. and SHIDATA T. : "Power Noise Spectra of a Water Reactor in Low Frequency Region", *J. Nucl. Sci. Technol* (*Tokyo*)., **4**, 267 (1967).
6) LEHTO W. K. and CARPENTER J. M. : "Determination of Reactor Kinetic Parameters by Photon Obserbation", *Nucl. Sci. Eng.*, **33**, 225 (1968).
7) HARRIS D. R. : "Stochatic Fluctuations in a Power Reactor", WAPD-TM-190 (1958).
8) PLUTA P. R. : "An Analysis of Fluctuations in a Boiling Water Reactor by Methods of Stochastic Processes", APED-4071 (1962).
"Probabilitistic Analysis of Reactor Kinetics", TID-7662, pp. 136—149 (1969).
9) MOORE M. N. : "The Power Noise Transfer Function of a Reactor", *Nucl. Sci. Eng.*, **6**, 448 (1959).
10) 宇都呂雄彦他「高出力，低周波領域の炉雑音スペクトル」，日本原子力学会第6回炉物理，第4回炉工学合同分科会 C-32 (1966).
11) SHEFF J. R. : "Neutron Fluctuations at Full Power", Preprints of Japan-United State Seminar on Nuclear Reactor Noise Analysis, pp. 211-225 (1968).
12) RAITO K. and TAJI Y. : "Theoretical Study of At-Power Reactor Noise", *ibid.*, pp 11-24, Supplements to Preprints, pp. 45-60 (1968).
13) LAX M. : "Fluctuations from Nonequilibrium Steady State", *Rev. Mod. Phys.*, **32**, 25 (1960).
14) SAITO K. : "Markoffian Description of At-Power Reactor Noise", *J. Nucl. Sci. Technol.* (*Tokyo*)., **6**, 261 (1969).
15) SAITO K. : "Input Noise Sources of At-Power Reactors with Temperature Feedback Effect", *Nucl. Sci. Eng.*, **37**, 380 (1969).
16) NOMURA T. : "Noise Analysis of Boiling Water Reactor", Priprints of Japan-United States Seminar on Nuclear Reactor Noise Analysis, pp. 197-210 (1968).
17) OTSUKA M. : "Theoretical Phases of Neutron Fluctuation Research in Japan", *ibid.*, pp. 1-9 (1968).
18) Borgwaldt H. : "Neutron Noise in a Reactor with an External Control Loop", *NUKLEONIK*, **11**, 76(1968).
19) 大塚益比古，須田信英，「高出力時の炉雑音」解析研究専門委員会資料，1965年11月11日，大塚益比古「炉雑音の出力依存の現象論」同上，1965年7月12日.
20) SKINNER R. E. and HETRICK D. L. : "The Transfer Function of a Water Boiler Reactor". *Nucl. Sci. Eng.*, **3**, 573 (1958).
21) SAITO K., "Temperature Fluctuations in a Non-Equilibrium Steady State", *J. Nucl. Sci. Technol.* (*Tokyo*) **5**, 547 (1968)
22) 堀上邦彦，"連立方程式を解く Subroutine CROUT". Computer 情報 (JAERI), NO. 4 (1967).
23) 藤村統一郎，中村康博，"LOG-LOG PLOT 用サブルーチン" Computer 情報，No. 10 (1968).
24) MOORE R. H. and ZEIGLER R. K., "The Solution of the General Least Squares Problem with Special Reference to High-Speed Computers", LA-2367, Los Alamos Scientific Laboratory (1959).
25) 森島信弘，"出力炉における中性子のゆらぎ"，早稲田大学修工論文 (1969)

Appendix I 行列 Gr〔s〕の要素

本文 (56) 式で定義した行列 $Gr[i\omega]$ の第 $(i\text{-}j)$ 要素 $Gr^{(ij)}[i\omega]$ を

$$Gr^{(ij)}[i\omega]=g^{(ij)}[i\omega]/|Gr[i\omega]|$$

とおく．なお，転置行列についても

$$Gr^{T(ij)}[i\omega]=g^{T(ij)}[i\omega]/|Gr[i\omega]|$$

とおくと，次の関係がある．

$$g^{(ij)}=g^{T(ji)}.$$

さて，

$$\begin{aligned}
g^{(11)}[s]&=(s+L^{(22)})(s+p_1)(s+p_2),\\
g^{(12)}[s]&=(s+p_1)(s+p_2)L^{(22)},\\
g^{(13)}[s]&=-(s+p_3)(s+p_4)L^{(13)} && ;\text{ if } L^{(13)}\neq 0,\\
&=(s+c_{13})a_{13} && ;\text{ if } L^{(13)}=0 \text{ and } a_{13}\neq 0,\\
&=d_{13} && ;\text{ if } L^{(13)}=a_{13}=0.\\
g^{(14)}[s]&=-(s+p_5)(s+p_6)L^{(14)} && ;\text{ if } L^{(14)}\neq 0,\\
&=(s+c_{14})a_{14} && ;\text{ if } L^{(14)}=0 \text{ and } a_{14}\neq 0,\\
&=d_{14} && ;\text{ if } L^{(14)}=a_{14}=0,
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
g^{(31)}[s]&=-(s+L^{(22)})(s+L^{(44)})L^{(31)}.\\
g^{(32)}[s]&=-(s+L^{(44)})L^{(22)}L^{(31)}.\\
g^{(33)}[s]&=(s+p_7)(s+p_8)(s+L^{(44)}).\\
g^{(34)}[s]&=-(s+p_9)(s+p_0)L^{(34)}.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
g^{(41)}[s]&=(s+L^{(22)})L^{(31)}L^{(43)}.\\
g^{(42)}[s]&=L^{(22)}L^{(31)}L^{(43)}.\\
g^{(43)}[s]&=-(s+p_{11})(s+p_{12})L^{(43)}.\\
g^{(44)}[s]&=s^3+s^2a_{442}+sa_{441}+a_{440}.
\end{aligned}$$

Appendix II NESAP Sample Problem

Input Data

```
                                                                                PAGE    1
 TEST NO.1 P=100KN=E+08MILIWATT,TCF=-1.5E-05,TCM=-8.5E-05,GAMFC/GAMFF=0.5.
    1   56   16   20    0    0                                                  *02
 0.0001                                                                          *03
 1.0    E+08 1.0    E+05                                                         *04
-5.66   E-05 4.16   E-05-8.5    E-05                                            *05
 1.66666E+05 3.33333E+06                                                         *06
 5.4    E+03-1.33333E-04 0.05        4.0         0.2         0.2                *07
 2.47        0.0075      3.2    E-08                                            *08
 0.784       0.00553     0.00003895                                             *09
 1.0         1.0         1.0         1.0         1.0         1.0                *10
 0.000159155 0.000238732 0.000318309 0.000477464 0.000636618 0.000795772 11
 0.000954927 0.00111408  0.00127324  0.00143239  0.00159155  0.00238732
 0.00318309  0.00477464  0.00636618  0.00795772  0.00954927  0.0111408
 0.0127324   0.0143239   0.0159155   0.0238732   0.0318309   0.0477464
 0.0636618   0.0795772   0.0954927   0.111408    0.127324    0.143239
 0.159155    0.238732    0.318309    0.477464    0.636618    0.795772
 0.954927    1.11408     1.27324     1.43239     1.59155     2.38732
 3.18309     4.77464     6.36618     7.95772     9.54927    11.408
12.7324     14.3239     15.9155     23.8732     31.8309     47.7464
63.6618     79.5772
    0    1    1    1                                                            *13
    1    1                                                                      *14
    1    1                                                                      *15
     TEST NO.1 RT=RM=1.0E+10, RR=1.0E+12                                        *16
 1.0    E+10 1.0    E+10 1.0    E+12                                            *17
```

Output Data

```
PROBLEM IDENTIFICATION          TEST NO.1 P=100KN=E+08MILIWATT,TCF=-1.5E-05,TCM=-8.5E-05,GAMFC/GAMFF=0.

    MEAN ENERGY RELEASED PER FISSION                                          3.20000E-08(**)
    FUEL TEMPERATURE REACTIVITY FEEDBACK THRU CAPTURE CROSS SECTION          -5.66000E-05(DELTAK/K/C)
    FUEL TEMPERATURE REACTIVITY FEEDBACK THRU FISSION CROSS SECTION           4.16000E-05(DELTAK/K/C)

    COOLANT   TEMPERATURE REACTIVITY FEEDBACK THRU CAPTURE CROSS SECTION     -8.50000E-05(DELTAK/K/C)

    HEAT CAPACITY OF FUEL                                                     1.66666E 05(**/C)

    HEAT CAPACITY OF COOLANT                                                  3.33333E 06(**/C)

    FISSION RATE PER NEUTRON                                                  5.40000E 03(/SEC)
    REACTIVITY                                                               -9.99997E-07
    DECAY CONSTANT OF PRECURSOR                                               5.00000E-02(/SEC)
    HEAT TRANSFER COEF.    DIVIDED BY FUEL HEAT CAPACITY                      4.00000E 00(/SEC)

    HEAT TRANSFER COEF.    DIVIDED BY COOLANT HEAT CAPACITY                   2.00000E-01(/SEC)
    COOLANT SPEED DIVIDED BY CHANNEL HEIGHT                                   2.00000E-01(/SEC)

    MEAN NUMBER OF SECONDARIES EMITTED PER FISSION                            2.47000E 00
    FRACTION OF DELAED NEUTRONS                                               7.50000E-03

    THE SECOND FACTORIAL MOMENTS DIVIDED BY MEAN*MEAN
            NUP*(NUP-1)                                                       7.84000E-01
            NUP*NUD                                                           5.53000E-03
            NUD*(NUD-1)                                                       3.89500E-05
            MU*MU                                                             1.00000E 00
            MUFH*MUFT                                                         1.00000E 00
            MUTM*MUTM                                                         1.00000E 00
            MUR*MUR                                                           1.00000E 00
            MU*NUP                                                            1.00000E 00
            MU*NUD                                                            1.00000E 00

                                                   ** MEANS UNIT OF ENERGY ,WHICH DEPENDS ON THE INPUT
```

```
SUBTITLE                TEST NO.1 RT=RM=1.0E+10, RR=1.0E+12

    REACTOR POWER                                                     1.00000E 08(**/SEC)

    EXTRANEOUS SOURCE STRENGTH                                        1.00000E 05(NEUTRONS PER SEC)

    PARAMETER SURVEY
    RATIO OF ENERGY TRANSFERED TO FISSION ENERGY
            MUTF/MU                                                   1.00000E 10
            MUTM/MU                                                   1.00000E 10
            MUR/MU                                                    1.00000E 12
                                                   ** MEANS UNIT OF ENERGY ,WHICH DEPENDS ON THE INPUT
```

```
FIRST MOMENTS ARE CONVERGED
**LINEARIZED BOLTZMANN OPERATOR MATRIX
        NEUTRONS      PRECURSORS     FUEL ENERGY    MOD. ENERGY
N        1.00048E 02  -5.00000E-02    7.18973E 05    1.96828E 05
C       -1.00035E 02   5.00000E-02   -2.42791E 04    0.
EF      -1.72800E-04   0.             3.95806E 00   -2.00000E-01
EM       0.            0.            -4.00000E 00    4.00000E-01

FIRST MOMENTS
        NEUTRONS      PRECURSORS     FUEL ENERGY    MOD. ENERGY
        5.76704E 11   1.15781E 15    5.00000E 07    5.00000E 08

COVARIANCE MATRIX
        NEUTRONS      PRECURSORS     FUEL ENERGY    MOD. ENERGY
N       1.17565E 19   2.75814E 21    1.39244E 14   -5.78380E 15
C        ***          5.56885E 24    1.04367E 17   -3.63180E 17
EF       ***            ***          1.35511E 10   -9.21247E 10
EM       ***            ***            ***          3.19875E 12

COVARIACE/(MEAN*MEAN)
        NEUTRONS      PRECURSORS     FUEL ENERGY    MOD. ENERGY
N       3.51047E-05   4.11644E-06    4.81228E-06   -1.99888E-05
C        ***          4.15424E-06    1.80248E-06   -6.27355E-07
EF       ***            ***          5.42045E-06   -3.68499E-06
EM       ***            ***            ***          1.27950E-05

EFFECTIVE MULTIPLICATION FACTOR(INPUT)=                    9.9999900 E-01
EFFECTIVE MULTIPLICATION FACTOR IN TERMS OF REACTION RATIO= 1.0000021 E 00
```

NOISE SOURCE SPECTRE (N-N COMPONENT) NORMALIZED AT 7.95772E-03(CPS)

	CPS (Hz)	NOISE SOURCE SPECTRE NORMALIZED	UNNORMALIZED
	1.59155E-04	1.065E 00	4.399E 24
	2.38732E-04	1.065E 00	4.399E 24
	3.18309E-04	1.065E 00	4.399E 24
	4.77464E-04	1.065E 00	4.398E 24
	6.36618E-04	1.065E 00	4.398E 24
	7.95772E-04	1.065E 00	4.397E 24
	9.54927E-04	1.064E 00	4.396E 24
	1.11408E-03	1.064E 00	4.394E 24
	1.27324E-03	1.064E 00	4.393E 24
	1.43239E-03	1.063E 00	4.391E 24
	1.59155E-03	1.063E 00	4.389E 24
	2.38732E-03	1.059E 00	4.375E 24
	3.18309E-03	1.055E 00	4.357E 24
	4.77464E-03	1.042E 00	4.302E 24
	6.36618E-03	1.023E 00	4.226E 24
	7.95772E-03	1.000E 00	4.130E 24
	9.54927E-03	9.726E-01	4.017E 24
	1.11408E-02	9.419E-01	3.890E 24
	1.27324E-02	9.085E-01	3.753E 24
	1.43239E-02	8.733E-01	3.607E 24
	1.59155E-02	8.370E-01	3.457E 24
	2.38732E-02	6.566E-01	2.712E 24
	3.18309E-02	5.041E-01	2.082E 24
	4.77464E-02	3.030E-01	1.251E 24
	6.36618E-02	1.946E-01	8.028E 23
	7.95772E-02	1.330E-01	5.494E 23
	9.54927E-02	9.596E-02	3.964E 23
	1.11408E-01	7.221E-02	2.982E 23
(rad/sec)	1.27324E-01	5.615E-02	2.319E 23
1.0 =	1.43239E-01	4.484E-02	1.852E 23
1.5 =	1.59155E-01	3.660E-02	1.512E 23
2.0 =	2.38732E-01	1.654E-02	6.830E 22
3.0 =	3.18309E-01	9.336E-03	3.856E 22
4.0 =	4.77464E-01	4.142E-03	1.711E 22
5.0 =	6.36618E-01	2.320E-03	9.581E 21
6.0 =	7.95772E-01	1.479E-03	6.107E 21
7.0 =	9.54927E-01	1.033E-03	4.227E 21
8.0 =	1.11408E 00	7.500E-04	3.098E 21
9.0 =	1.27324E 00	5.731E-04	2.367E 21
	1.43239E 00	4.521E-04	1.867E 21
	1.59155E 00	3.658E-04	1.511E 21
	2.38732E 00	1.621E-04	6.694E 20
	3.18309E 00	9.104E-05	3.760E 20
	4.77464E 00	4.043E-05	1.670E 20
	6.36618E 00	2.273E-05	9.390E 19
	7.95772E 00	1.455E-05	6.009E 19
	9.54927E 00	1.010E-05	4.173E 19
	1.14080E 01	7.080E-06	2.924E 19
	1.27324E 01	5.684E-06	2.348E 19
	1.43239E 01	4.492E-06	1.855E 19
	1.59155E 01	3.639E-06	1.503E 19
	2.38732E 01	1.619E-06	6.688E 18
	3.18309E 01	9.124E-07	3.769E 18
	4.77464E 01	4.075E-07	1.683E 18
	6.36618E 01	2.308E-07	9.534E 17
	7.95772E 01	1.490E-07	6.155E 17

SPECTRA OF NOISE SOURCE COMPONENT

CPS	N-N	N-C	N-EF	N-EM	C-C	C-EF	C-EM	EF-EF	EF-EM	EM-EM	TM
1.592E-04	1.000E 00	1.999E 00	1.059E 00	1.068E 00	1.999E 00	1.709E 00	1.688E 00	1.061E 00	1.063E 00	1.065E 00	1.010E 00
2.387E-04	1.000E 00	1.998E 00	1.059E 00	1.068E 00	1.998E 00	1.708E 00	1.687E 00	1.061E 00	1.063E 00	1.065E 00	1.010E 00
3.183E-04	1.000E 00	1.997E 00	1.059E 00	1.068E 00	1.997E 00	1.707E 00	1.686E 00	1.061E 00	1.063E 00	1.065E 00	1.010E 00
4.775E-04	1.000E 00	1.995E 00	1.059E 00	1.067E 00	1.995E 00	1.705E 00	1.683E 00	1.061E 00	1.063E 00	1.065E 00	1.010E 00
6.366E-04	1.000E 00	1.987E 00	1.059E 00	1.067E 00	1.987E 00	1.701E 00	1.680E 00	1.061E 00	1.063E 00	1.065E 00	1.010E 00
7.958E-04	1.000E 00	1.980E 00	1.058E 00	1.067E 00	1.980E 00	1.696E 00	1.675E 00	1.060E 00	1.063E 00	1.065E 00	1.010E 00
9.549E-04	1.000E 00	1.972E 00	1.058E 00	1.067E 00	1.972E 00	1.690E 00	1.669E 00	1.060E 00	1.063E 00	1.064E 00	1.010E 00
1.114E-03	1.000E 00	1.962E 00	1.058E 00	1.066E 00	1.962E 00	1.683E 00	1.662E 00	1.060E 00	1.062E 00	1.064E 00	1.010E 00
1.273E-03	1.000E 00	1.950E 00	1.058E 00	1.066E 00	1.950E 00	1.675E 00	1.654E 00	1.060E 00	1.062E 00	1.064E 00	1.010E 00
1.432E-03	1.000E 00	1.937E 00	1.057E 00	1.065E 00	1.937E 00	1.666E 00	1.646E 00	1.059E 00	1.061E 00	1.063E 00	1.010E 00
1.592E-03	1.000E 00	1.923E 00	1.057E 00	1.065E 00	1.923E 00	1.656E 00	1.636E 00	1.059E 00	1.061E 00	1.063E 00	1.010E 00
2.387E-03	1.000E 00	1.835E 00	1.054E 00	1.061E 00	1.835E 00	1.594E 00	1.576E 00	1.056E 00	1.058E 00	1.059E 00	1.011E 00
3.183E-03	1.000E 00	1.724E 00	1.050E 00	1.057E 00	1.724E 00	1.516E 00	1.501E 00	1.052E 00	1.054E 00	1.055E 00	1.011E 00
4.775E-03	1.000E 00	1.471E 00	1.038E 00	1.043E 00	1.471E 00	1.337E 00	1.328E 00	1.040E 00	1.041E 00	1.042E 00	1.011E 00
6.366E-03	1.000E 00	1.220E 00	1.021E 00	1.024E 00	1.220E 00	1.159E 00	1.154E 00	1.022E 00	1.023E 00	1.023E 00	1.007E 00
7.958E-03	1.000E 00	1.000E 00	1.000E 00	1.000E 00	1.000E 00	1.000E 00	1.000E 00	1.000E 00	1.000E 00	1.000E 00	1.000E 00
9.549E-03	1.000E 00	8.197E-01	9.751E-01	9.721E-01	8.197E-01	8.672E-01	8.707E-01	9.736E-01	9.730E-01	9.726E-01	9.892E-01
1.114E-02	1.000E 00	6.757E-01	9.472E-01	9.410E-01	6.757E-01	7.985E-01	7.644E-01	9.436E-01	9.425E-01	9.419E-01	9.753E-01
1.273E-02	1.000E 00	5.618E-01	9.168E-01	9.077E-01	5.618E-01	6.696E-01	6.774E-01	9.111E-01	9.094E-01	9.085E-01	9.591E-01
1.432E-02	1.000E 00	4.717E-01	8.848E-01	8.717E-01	4.717E-01	5.967E-01	6.056E-01	8.766E-01	8.744E-01	8.733E-01	9.412E-01
1.592E-02	1.000E 00	4.000E-01	8.518E-01	8.351E-01	4.000E-01	5.360E-01	5.457E-01	8.409E-01	8.383E-01	8.369E-01	9.220E-01
2.387E-02	1.000E 00	2.000E-01	6.876E-01	6.537E-01	2.000E-01	3.424E-01	3.522E-01	6.632E-01	6.585E-01	6.565E-01	8.225E-01
3.183E-02	1.000E 00	1.176E-01	5.448E-01	5.005E-01	1.176E-01	2.365E-01	2.465E-01	5.128E-01	5.064E-01	5.040E-01	7.357E-01
4.775E-02	1.000E 00	5.405E-02	3.665E-01	2.986E-01	5.405E-02	1.326E-01	1.370E-01	3.142E-01	3.057E-01	3.027E-01	6.193E-01
6.366E-02	1.000E 00	3.077E-02	2.664E-01	1.896E-01	3.077E-02	8.297E-02	8.526E-02	2.069E-01	1.973E-01	1.941E-01	5.550E-01
7.958E-02	1.000E 00	1.980E-02	2.101E-01	1.281E-01	1.980E-02	5.646E-02	5.750E-02	1.462E-01	1.361E-01	1.327E-01	5.174E-01
9.549E-02	1.000E 00	1.379E-02	1.758E-01	9.093E-02	1.379E-02	4.087E-02	4.114E-02	1.095E-01	9.907E-02	9.566E-02	4.933E-01
1.114E-01	1.000E 00	1.015E-02	1.536E-01	6.711E-02	1.015E-02	3.100E-02	3.078E-02	9.591E-02	7.539E-02	7.188E-02	4.763E-01
1.273E-01	1.000E 00	7.782E-03	1.332E-01	5.104E-02	7.782E-03	2.440E-02	2.384E-02	6.992E-02	5.926E-02	5.582E-02	4.635E-01
1.432E-01	1.000E 00	6.154E-03	1.271E-01	3.974E-02	6.154E-03	1.977E-02	1.899E-02	5.862E-02	4.795E-02	4.451E-02	4.529E-01
1.592E-01	1.000E 00	4.987E-03	1.137E-01	3.152E-02	4.987E-03	1.640E-02	1.546E-02	5.032E-02	3.968E-02	3.626E-02	4.437E-01
2.387E-01	1.000E 00	2.220E-03	9.592E-02	1.172E-02	2.220E-03	8.190E-03	6.930E-03	2.961E-02	1.946E-02	1.622E-02	4.052E-01
3.183E-01	1.000E 00	1.249E-03	8.193E-02	4.892E-03	1.249E-03	5.171E-03	3.887E-03	2.141E-02	1.203E-02	9.043E-03	3.687E-01
4.775E-01	1.000E 00	5.554E-04	6.329E-02	5.283E-04	5.554E-04	2.813E-03	1.703E-03	1.397E-02	6.336E-03	3.904E-03	2.969E-01
6.366E-01	1.000E 00	3.125E-04	4.915E-02	-5.395E-04	3.125E-04	1.846E-03	9.436E-04	1.030E-02	4.056E-03	2.131E-03	2.341E-01
7.958E-01	1.000E 00	2.000E-04	3.840E-02	-7.748E-04	2.000E-04	1.314E-03	5.962E-04	7.609E-03	2.847E-03	1.330E-03	1.842E-01
9.549E-01	1.000E 00	1.389E-04	3.035E-02	-7.662E-04	1.389E-04	9.833E-04	4.099E-04	5.892E-03	2.110E-03	9.054E-04	1.462E-01
1.114E 00	1.000E 00	1.020E-04	2.434E-02	-6.895E-04	1.020E-04	7.616E-04	2.989E-04	4.667E-03	1.624E-03	6.550E-04	1.175E-01
1.273E 00	1.000E 00	7.812E-05	1.982E-02	-6.013E-04	7.812E-05	6.058E-04	2.275E-04	3.768E-03	1.286E-03	4.956E-04	9.582E-02
1.432E 00	1.000E 00	6.173E-05	1.638E-02	-5.194E-04	6.173E-05	4.923E-04	1.789E-04	3.095E-03	1.042E-03	3.880E-04	7.925E-02
1.592E 00	1.000E 00	5.000E-05	1.371E-02	-4.485E-04	5.000E-05	4.074E-04	1.444E-04	2.581E-03	8.602E-04	3.120E-04	6.642E-02
2.387E 00	1.000E 00	2.222E-05	6.698E-03	-2.324E-04	2.222E-05	1.913E-04	6.358E-05	1.235E-03	4.015E-04	1.360E-04	3.216E-02
3.183E 00	1.000E 00	1.250E-05	3.896E-03	-1.380E-04	1.250E-05	1.098E-04	3.563E-05	7.143E-04	2.301E-04	7.592E-05	1.867E-02
4.775E 00	1.000E 00	5.556E-06	1.749E-03	-6.380E-05	5.556E-06	4.958E-05	1.579E-05	3.240E-04	1.037E-04	3.354E-05	8.495E-03
6.366E 00	1.000E 00	3.125E-06	9.919E-04	-3.639E-05	3.125E-06	2.804E-05	8.872E-06	1.836E-04	5.863E-05	1.883E-05	4.818E-03
7.958E 00	1.000E 00	2.000E-06	6.372E-04	-2.344E-05	2.000E-06	1.799E-05	5.675E-06	1.179E-04	3.761E-05	1.204E-05	3.096E-03
9.549E 00	1.000E 00	1.389E-06	4.434E-04	-1.633E-05	1.389E-06	1.251E-05	3.940E-06	8.202E-05	2.615E-05	8.355E-06	2.154E-03
1.141E 01	1.000E 00	9.732E-07	3.111E-04	-1.147E-05	9.732E-07	8.775E-06	2.760E-06	5.755E-05	1.834E-05	5.852E-06	1.512E-03
1.273E 01	1.000E 00	7.812E-07	2.499E-04	-9.217E-06	7.812E-07	7.048E-06	2.216E-06	4.622E-05	1.473E-05	4.697E-06	1.214E-03
1.432E 01	1.000E 00	6.173E-07	1.976E-04	-7.291E-06	6.173E-07	5.571E-06	1.751E-06	3.654E-05	1.164E-05	3.711E-06	9.600E-04
1.592E 01	1.000E 00	5.000E-07	1.601E-04	-5.910E-06	5.000E-07	4.514E-06	1.418E-06	2.961E-05	9.431E-06	3.005E-06	7.779E-04
2.387E 01	1.000E 00	2.222E-07	7.123E-05	-2.631E-06	2.222E-07	2.007E-06	6.301E-07	1.317E-05	4.194E-06	1.335E-06	3.461E-04
3.183E 01	1.000E 00	1.250E-07	4.008E-05	-1.481E-06	1.250E-07	1.129E-06	3.544E-07	7.411E-06	2.360E-06	7.511E-07	1.947E-04
4.775E 01	1.000E 00	5.556E-08	1.782E-05	-6.583E-07	5.556E-08	5.020E-07	1.575E-07	3.294E-06	1.049E-06	3.338E-07	8.657E-05
6.366E 01	1.000E 00	3.125E-08	1.002E-05	-3.704E-07	3.125E-08	2.824E-07	8.860E-08	1.853E-06	5.900E-07	1.878E-07	4.870E-05
7.958E 01	1.000E 00	2.000E-08	6.415E-06	-2.370E-07	2.000E-08	1.807E-07	5.670E-08	1.186E-06	3.776E-07	1.202E-07	3.117E-05

FRACTIONAL CONTRIBUTION OF EACH NOISE COMPONENT TO THE TOTAL NOISE SOURCE AT THE NORMALIZATION POINT OF FREQUENCY

N-N	N-C	N-EF	N-EM	C-C	C-EF	C-EM	EF-EF	EF-EM	EM-EM
		FROM BINARY NES(FISSION)							
		FROM BINARY NES(HEAT TRANSFER)							
		FROM COOL. REM							
		FROM 2ND MOMENT							
		SUM							
3.619E-09	5.103E-11	-1.627E-10	-0.	1.797E-13	-1.626E-10	-0.	1.433E-12	0.	0.
0.	0.	-0.	-0.	0.	-0.	-0.	4.299E-02	-7.410E-02	3.193E-02
0.	0.	-0.	-0.	0.	-0.	-0.	0.	0.	1.064E 00
-5.875E-14	1.983E-15	-4.661E-15	-0.	0.	-0.	-0.	0.	0.	0.
3.619E-09	5.103E-11	-1.627E-10	-0.	1.797E-13	-1.626E-10	-0.	4.299E-02	-7.410E-02	1.096E 00

NOISE SOURCE SPECTRE EF-EF COMPONENT NORMALIZED AT 7.95772E-03(CPS)

CPS	NOISE SOURCE SPECTRE NORMALIZED	NOISE SOURCE SPECTRE UNNORMALIZED
1.59155E-04	1.740E 00	6.213E 15
2.38732E-04	1.740E 00	6.210E 15
3.18309E-04	1.739E 00	6.206E 15
4.77464E-04	1.736E 00	6.196E 15

以下省略

SPECTRA OF NOISE SOURCE COMPONENT

CPS	N-N	N-C	N-EF	N-EM	C-C	C-EF	C-EM	EF-EF	EF-EM	EM-EM	TM
1.592E-04	1.055E 00	2.108E 00	1.122E-03	1.600E 00	2.108E 00	-7.565E-01	2.036E 00	8.433E-04	1.845E-03	1.830E 00	6.594E-01
2.387E-04	1.054E 00	2.107E 00	2.175E-03	1.600E 00	2.107E 00	-7.547E-01	2.035E 00	1.896E-03	2.914E-03	1.830E 00	6.598E-01
3.183E-04	1.054E 00	2.106E 00	3.647E-03	1.599E 00	2.106E 00	-7.521E-01	2.033E 00	3.369E-03	4.408E-03	1.828E 00	6.603E-01
4.775E-04	1.054E 00	2.101E 00	7.841E-03	1.597E 00	2.101E 00	-7.448E-01	2.029E 00	7.564E-03	8.665E-03	1.825E 00	6.618E-01

以下省略

FRACTIONAL CONTRIBUTION OF EACH NOISE COMPONENT TO THE TOTAL NOISE SOURCE AT THE NORMALIZATION POINT OF FREQUENCY

N-N	N-C	N-EF	N-EM	C-C	C-EF	C-EM	EF-EF	EF-EM	EM-EM
		FROM BINARY NES(FISSION)							
		FROM BINARY NES(HEAT TRANSFER)							
		FROM COOL. REM							
		FROM 2ND MOMENT							
		SUM							
3.261E-08	4.598E-10	3.319E-13	-0.	1.619E-12	8.228E-14	-0.	9.367E-16	-0.	0.
0.	0.	0.	-0.	0.	0.	-0.	2.810E-05	2.941E-05	5.069E-02
0.	0.	0.	-0.	0.	0.	-0.	0.	-0.	1.690E 00
-5.294E-13	1.787E-14	9.510E-18	-0.	0.	0.	-0.	0.	-0.	0.
3.261E-08	4.598E-10	3.319E-13	-0.	1.619E-12	8.228E-14	-0.	2.810E-05	2.941E-05	1.740E 00

NOISE SOURCE SPECTRE M-M COMPONENT NORMALIZED AT 7.95772E-03(CPS)

CPS	NOISE SOURCE SPECTRE NORMALIZED	NOISE SOURCE SPECTRE UNNORMALIZED
1.59155E-04	1.087E 00	1.430E 18
2.38732E-04	1.087E 00	1.430E 18
3.18309E-04	1.087E 00	1.429E 18

以下省略

SPECTRA OF NOISE SOURCE COMPONENT

CPS	N-N	N-C	N-EF	N-EM	C-C	C-EF	C-EM	EF-EF	EF-EM	EM-EM	TM
1.592E-04	1.071E 00	2.141E 00	1.139E-03	1.072E 00	2.141E 00	2.141E 00	2.163E 00	8.565E-04	1.137E-03	1.072E 00	2.069E 00
2.387E-04	1.071E 00	2.140E 00	2.208E-03	1.072E 00	2.140E 00	2.140E 00	2.162E 00	1.926E-03	2.206E-03	1.072E 00	2.068E 00
3.183E-04	1.071E 00	2.138E 00	3.703E-03	1.072E 00	2.138E 00	2.138E 00	2.160E 00	3.421E-03	3.701E-03	1.072E 00	2.066E 00

以下省略

FRACTIONAL CONTRIBUTION OF EACH NOISE COMPONENT TO THE TOTAL NOISE SOURCE AT THE NORMALIZATION POINT OF FREQUENCY

N-N	N-C	N-EF	N-EM	C-C	C-EF	C-EM	EF-EF	EF-EM	EM-EM
		FROM BINARY NES(FISSION)							
		FROM BINARY NES(HEAT TRANSFER)							
		FROM COOL. REM							
		FROM 2ND MOMENT							
		SUM							
8.854E-09	1.249E-10	9.012E-14	0.	8.794E-13	3.389E-09	0.	2.543E-16	0.	0.
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	7.630E-06	-2.632E-05	3.167E-02
0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	1.056E 00
-1.437E-13	4.852E-15	2.582E-18	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
8.854E-09	1.249E-10	9.012E-14	0.	8.794E-13	3.389E-09	0.	7.630E-06	-2.632E-05	1.087E 00

NOISE SPECTRA

SQUARE MODULUS OF TRANSFER FUNCTION NORMALIZED AT CPS= 7.95772E-03,WHERE /T/**2= 2.40555E 03

CPS	N-N	EF-EF	EM-EM	T(IW)*T(-IW)	T0(IW)*T0(-IW)
1.59155E-04	1.42565E 00	2.32932E 00	1.45550E 00	1.33843E 00	1.25044E 03
2.38732E-04	1.42506E 00	2.32744E 00	1.45486E 00	1.33796E 00	5.56043E 02
3.18309E-04	1.42423E 00	2.32481E 00	1.45397E 00	1.33724E 00	3.12997E 02
4.77464E-04	1.42186E 00	2.31733E 00	1.45144E 00	1.33518E 00	1.39388E 02
6.36618E-04	1.41857E 00	2.30696E 00	1.44792E 00	1.33232E 00	7.86248E 01
7.95772E-04	1.41440E 00	2.29377E 00	1.44344E 00	1.32868E 00	5.05000E 01
9.54927E-04	1.40936E 00	2.27769E 00	1.43805E 00	1.32431E 00	3.52222E 01
1.11408E-03	1.40352E 00	2.25943E 00	1.43179E 00	1.31923E 00	2.60103E 01
1.27324E-03	1.39690E 00	2.23856E 00	1.42471E 00	1.31349E 00	2.00311E 01
1.43239E-03	1.38957E 00	2.21543E 00	1.41685E 00	1.30713E 00	1.59321E 01
1.59155E-03	1.38158E 00	2.19021E 00	1.40829E 00	1.30021E 00	1.29999E 01
2.38732E-03	1.33374E 00	2.03938E 00	1.35705E 00	1.25903E 00	6.05954E 00
3.18309E-03	1.27809E 00	1.86419E 00	1.29746E 00	1.21172E 00	3.62500E 00
4.77464E-03	1.16610E 00	1.51304E 00	1.17758E 00	1.11952E 00	1.88889E 00
6.36618E-03	1.07200E 00	1.22051E 00	1.07692E 00	1.04769E 00	1.28125E 00
7.95772E-03	1.00000E 00	1.00000E 00	1.00000E 00	1.00000E 00	1.00000E 00
9.54927E-03	9.46120E-01	8.38808E-01	9.42557E-01	9.72736E-01	8.47222E-01
1.11408E-02	9.05343E-01	7.20949E-01	8.99210E-01	9.61203E-01	7.55102E-01
1.27324E-02	8.73649E-01	6.33597E-01	8.65648E-01	9.61607E-01	6.95310E-01
1.43239E-02	8.48193E-01	5.67647E-01	8.38819E-01	9.71207E-01	6.54320E-01
1.59155E-02	8.27023E-01	5.16636E-01	8.16631E-01	9.88073E-01	6.24998E-01
2.38732E-02	7.51405E-01	3.78929E-01	7.38704E-01	1.14441E 00	5.55554E-01
3.18309E-02	6.91869E-01	3.17865E-01	6.78797E-01	1.37238E 00	5.31247E-01
4.77464E-02	5.80081E-01	2.54305E-01	5.67879E-01	1.91453E 00	5.13884E-01
6.36618E-02	4.77415E-01	2.15195E-01	4.66591E-01	2.45625E 00	5.07804E-01
7.95772E-02	3.89910E-01	1.86285E-01	3.80407E-01	2.93107E 00	5.04987E-01
9.54927E-02	3.18946E-01	1.64244E-01	3.10565E-01	3.32269E 00	5.03454E-01
1.11408E-01	2.52732E-01	1.47250E-01	2.55262E-01	3.63850E 00	5.02526E-01
1.27324E-01	2.18515E-01	1.34012E-01	2.11775E-01	3.89164E 00	5.01921E-01
1.43239E-01	1.83668E-01	1.23568E-01	1.77513E-01	4.09603E 00	5.01509E-01
1.59155E-01	1.56014E-01	1.15204E-01	1.50331E-01	4.26320E 00	5.01200E-01
2.38732E-01	7.91721E-02	9.04606E-02	7.48863E-02	4.79786E 00	5.00443E-01
3.18309E-01	4.75652E-02	7.76976E-02	4.39739E-02	5.09500E 00	5.00112E-01
4.77464E-01	2.29485E-02	6.17160E-02	2.01633E-02	5.54076E 00	4.99690E-01
6.36618E-01	1.36916E-02	4.99820E-02	1.14642E-02	5.90219E 00	4.99280E-01
7.95772E-01	9.16717E-03	4.06161E-02	7.37083E-03	6.19971E 00	4.98805E-01
9.54927E-01	6.58849E-03	3.31755E-02	5.13031E-03	6.43740E 00	4.98244E-01
1.11408E 00	4.96745E-03	2.73110E-02	3.77392E-03	6.62306E 00	4.97592E-01
1.27324E 00	3.87773E-03	2.26990E-02	2.89150E-03	6.76618E 00	4.96846E-01
1.43239E 00	3.10873E-03	1.90589E-02	2.28570E-03	6.87560E 00	4.96005E-01
1.59155E 00	2.54546E-03	1.61646E-02	1.85196E-03	6.95865E 00	4.95071E-01
2.38732E 00	1.19671E-03	8.09038E-03	8.23589E-04	7.13755E 00	4.89024E-01
3.18309E 00	6.48482E-04	4.76104E-03	4.63345E-04	7.12258E 00	4.80808E-01
4.77464E 00	2.77669E-04	2.18703E-03	2.05953E-04	6.86836E 00	4.58791E-01
6.36618E 00	1.47149E-04	1.24390E-03	1.15853E-04	6.47264E 00	4.31452E-01
7.95772E 00	8.74311E-05	7.99661E-04	7.41482E-05	6.00954E 00	4.00157E-01
9.54927E 00	5.57796E-05	5.56342E-04	5.14929E-05	5.52085E 00	3.67638E-01
1.14080E 01	3.50793E-05	3.90078E-04	3.60809E-05	4.95472E 00	3.30518E-01
1.27324E 01	2.59733E-05	3.13146E-04	2.89656E-05	4.56936E 00	3.05111E-01
1.43239E 01	1.85773E-05	2.47359E-04	2.28869E-05	4.13571E 00	2.76486E-01
1.59155E 01	1.36060E-05	2.00276E-04	1.85385E-05	3.73887E 00	2.50245E-01
2.38732E 01	3.71048E-06	8.88096E-05	8.23972E-06	2.29139E 00	1.54055E-01
3.18309E 01	1.35573E-06	4.98774E-05	4.63497E-06	1.48583E 00	1.00157E-01
4.77464E 01	3.02078E-07	2.21333E-05	2.06003E-06	7.41237E-01	5.00883E-02
6.36618E 01	1.00548E-07	1.24418E-05	1.15878E-06	4.35614E-01	2.94662E-02
7.95772E 01	4.24270E-08	7.96013E-06	7.41623E-07	2.84693E-01	1.92671E-02

Appendix III Subroutine DIST

原子炉内に自然に存在する雑音源行列 Q (cf. Eqs. (43) と (44)) からの入力雑音源 $I(\omega)$ (cf. Eqs. (54), (89) と (102)) への寄与の外に，次の形で，外乱からの寄与をとりいれることができる．

$$I_D(\omega)=\sum_{i=1}^{4}\sum_{j=i}^{4}M^{(ij)}(\omega)Q_D{}^{(ij)}(\omega). \tag{A-3-1}$$

外乱雑音源 $Q_D{}^{(ij)}(\omega)$ としては，次の形のものが本コードでは用意されている．

1. 一次遅れ型の外部雑音源

$$\begin{aligned} Q_D{}^{(ij)}(\omega)&=A_D{}^{(ij)}\frac{p_i{}^2}{\omega^2+p_i{}^2} &&;\quad i=j \text{ の場合,}\\ &=A_D{}^{(ij)}\frac{2p_ip_j(\omega^2+p_ip_j)}{(\omega^2+p_i{}^2)(\omega^2+p_j{}^2)} &&;\quad i\neq j \text{ の場合.}\end{aligned} \tag{A-3-2}$$

緩和定数 p_i (sec^{-1}) は，入力データとして与える．係数 A_D としては，次の 4 つのいずれかを選ぶことができる．

1-1) $$A_D{}^{(ij)}\propto\text{Singlet.} \tag{A-3-3}$$

4 つの状態量の期待値 $\langle N\rangle$, $\langle C\rangle$, $\langle\theta\rangle$, $\langle\theta_m\rangle$ のいずれを選ぶかは，入力データで指定する．

1-2) $$A_D{}^{(ij)}\propto\langle f^{(i)}\rangle\langle f^{(j)}\rangle. \tag{A-3-4}$$

1-3) $$A_D{}^{(ij)}\propto\langle\delta f^{(i)}\delta f^{(j)}\rangle. \tag{A-3-5}$$

1-4) $$A_D{}^{(ij)}\propto\text{Const}=c_{ij}. \tag{A-3-6}$$

(A-3-3) 式～(A-3-5) 式における比例定数 c_{ij} とおく．これは，入力データとして与える．ただし，

$$c_{ij}=c_{ji}. \tag{A-3-7}$$

とする．

2. Morishima モデル

Morishima[25] は，原子炉系におけるエネルギー輸送の問題を開放系とみなした取り扱かいを示し，さらに冷却材の出口に統計的な外乱を与えるという試みをおこなっている．その結果は，本報のモデルで，外乱として，次式の雑音源を加えることに相当している．

$$\begin{aligned} Q_D{}^{(ij)}(\omega)&=(\alpha dq_i)^2\frac{2\lambda_D}{\omega^2+\lambda_D{}^2} &&;\quad i=j=4 \text{ の場合,}\\ &=0 &&;\quad \text{otherwise.}\end{aligned} \tag{A-3-8}$$

ただし

α；流出熱エネルギー流 q_o のゆらぎの標準偏差 $\left(=\dfrac{\sqrt{\langle\delta q_o\delta q_o\rangle}}{q_o}\right)$.

d；流出口での熱流の路の数.

$q_o=q_i+P+(e_o+\varepsilon\langle\theta_m\rangle)$ (e. g., MW 単位).

q_i；流入熱エネルギー流 (e. g., MW 単位).

P；炉出力 (e. g., MW 単位).

$e_o+\varepsilon\langle\theta_m\rangle$；仕事に費やされるエネルギー流 (e. g., MW 単位).

λ_D；緩和定数 (sec^{-1}).

このサブルーチン DIST を用いる場合には，NESAP 入力データ #02 IDIST を次のようにする.

IDIST=1, if external noise source is the type 1.
=2, if external noise source is the type 2.
=3, for user's option.

その他の入力データは，NESAP と同一形式に用意し，さらに次のデータをつけ加える.

1. IDIST=1 の場合

#18 format (4E12. 5).

Relaxation constants, p_i $(i=1,4)$.

#19 format (6E12. 5) (two cards).

Proportionarity constants, c_{ij} for $(i,j)=(1,1)$, $(1,2)$, $(1,3)$, $(1,4)$, $(2,2)$, $(2,3)$, $(2,4)$, $(3,3)$, $(3,4)$ and $(4,4)$.

#20 format (2I5).

IX : Option.

Put IX=1, if $A_D^{(ij)}\propto$Singlet.
=2, if $A_D^{(ij)}\propto\langle f^{(i)}\rangle\langle f^{(j)}\rangle$.
=3, if $A_D^{(ij)}\propto\langle\delta f^{(i)}\delta f^{(j)}\rangle$.
=4, if $A_D^{(ij)}=$const.

IAVE : Option.

Put IAVE=1, if IX=1 and $A_D^{(ij)}\propto\langle N\rangle$.
=2, if IX=1 and $A_D^{(ij)}\propto\langle C\rangle$.
=3, if IX=1 and $A_D^{(ij)}\propto\langle\theta\rangle$.
=4, if IX=1 and $A_D^{(ij)}\propto\langle\theta_m\rangle$.

2. IDIST=2 の場合

#21 format (4E12. 5, I5)

α, e_o, λ_D, ε and d.

雑音源成分 $M_D^{(ij)}(\omega)Q_D^{(ij)}(\omega)$ の値は，アウト・プットされる．自然の雑音源による入力雑音スペクトル密度 $I(\omega)$ (cf. Eqs. (54), (89) と (102)) と外乱によるもの $I_D(\omega)$ との和 $I_t(\omega)$ が計算され，アウト・プットされる．さらに，$I_t(\omega)$ と伝達関数のゲインの2乗との積，すなわち，雑音スペクトル密度が計算され，アウト・プットされる.

Appendix IV NESPL コードとその入力形式

両対数目盛の平面に曲線を描かせるためのコードが NESPL である．1枚の対数方眼紙に，最大10本の曲線を書くことができる．入力形式は，次のとおり．

♯ 300 format (I5).

NSEET：対数方眼紙の総数.

以下のデータは，合わせて NSEET 組用意する．

♯ 301 format (12A6)；Title.

♯ 302 format (3E12.5).

GX；今までの原点に対する新原点の位置（X-座標)(mm).

GY；同上（Y-座標)(mm).

WY；Y 軸方向の長さ (mm)$\leq$280−GY.

♯ 303 format (2I5).

NP；一枚の方眼紙に描かれる曲線の総数$\leq$10.

NCPS；曲線を定めるデータの総数$\leq$200.

♯ 304 format (6E12.5).

CPS(I), I=1, NCPS；データの X 座標分点の値.

以下のデータは，合わせて NP 組用意する．

♯ 305 format (12A6).

SUBTIT(J)；J 番目の曲線の名称.

♯ 306 format (6E12.5).

PSPEC(I, J) I=1, NCPS；J 番目の曲線の Y 座標分点の値.

すなわち，Data Deck の構成は，次のようになる．

♯ 300
♯ 301
♯ 302
♯ 303
♯ 304
♯ 305 } NP pairs 重ねる
♯ 306 }
} NSEET pairs 重ねる.

なお，本コードは，計算センター藤村統一郎氏によって作製されたサブルーチン LŌGLG 3, LINER 1 および SCLINE を使用している[23].

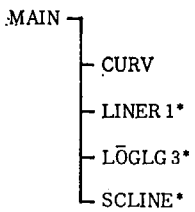

Fig. 3 Tree structure of the NESPL Code

* Developed by T. Fujimura (JAERI)

NESPLE Sample Problem Input data

```
                                                                                PAGE
   2                                                                            *300
TEST NO.1 P=300KN=E-08MILIWATT,TCF=-1.5E-05,TGM=-8.5E-05,GAMFC/GAMFF=0.5,
10.0        10.0        240.0                                                   *302
   3   56                                                                       *303
0.15916E-03 0.23873E-03 0.31831E-03 0.47746E-03 0.63662E-03 0.79577E-03
0.95493E-03 0.11141E-02 0.12732E-02 0.14324E-02 0.15915E-02 0.23873E-02
0.31831E-02 0.47746E-02 0.63662E-02 0.79577E-02 0.95493E-02 0.11141E-01
0.12732E-01 0.14324E-01 0.15916E-01 0.23873E-01 0.31831E-01 0.47746E-01
0.63662E-01 0.79577E-01 0.95493E-01 0.11141E 00 0.12732E 00 0.14324E 00
0.15915E 00 0.23873E 00 0.31831E 00 0.47746E 00 0.63662E 00 0.79577E 00
0.95493E 00 0.11141E 01 0.12732E 01 0.14324E 01 0.15915E 01 0.23873E 01
0.31831E 01 0.47746E 01 0.63662E 01 0.79577E 01 0.95493E 01 0.11408E 02
0.12732E 02 0.14324E 02 0.15916E 02 0.23873E 02 0.31831E 02 0.47746E 02
0.63662E 02 0.79577E 02
TOTAL NOISE SOURCE TO POWER NOISE
0.10652E 01 0.10651E 01 0.10650E 01 0.10649E 01 0.10647E 01 0.10645E 01
0.10642E 01 0.10639E 01 0.10635E 01 0.10631E 01 0.10626E 01 0.10593E 01
0.10548E 01 0.10416E 01 0.10232E 01 0.10000E 01 0.97264E 00 0.94189E 00
0.90853E 00 0.87334E 00 0.83700E 00 0.63659E 00 0.50414E 00 0.30299E 00
0.26437E 00 0.13303E 00 0.95985E-01 0.72209E-01 0.56150E-01 0.44840E-01
0.36595E-01 0.18538E-01 0.9335 7E-02 0.4241 8E-02 0.2319 7E-02 0.14786E-02
0.10235E-02 0.75092E-03 0.57311E-03 0.45214E-03 0.36590E-03 0.16206E-03
0.91085E-04 0.40427E-04 0.22734E-04 0.14549E-04 0.10103E-04 0.70800E-05
0.54842E-05 0.44919E-05 0.26391E-05 0.16195E-05 0.91244E-06 0.40753E-06
0.23082E-06 0.14903E-06
TRANSFER FUNCTION (NORMALIZED)
0.13385E 01 0.13380E 01 0.13377E 01 0.13352E 01 0.13323E 01 0.13287E 01
0.13243E 01 0.13192E 01 0.13135E 01 0.13071E 01 0.13002E 01 0.12590E 01
0.12117E 01 0.11595E 01 0.10477E 01 0.10000E 01 0.97274E 00 0.96120E 00
0.96164E 00 0.97121E 00 0.98808E 00 0.11648E 01 0.13724E 01 0.19145E 01
0.24543E 01 0.29311E 01 0.33229E 01 0.36385E 01 0.38917E 01 0.40960E 01
0.42632E 01 0.47879E 01 0.50950E 01 0.55408E 01 0.59072E 01 0.61997E 01
0.64374E 01 0.66231E 01 0.67662E 01 0.68756E 01 0.69587E 01 0.71376E 01
0.71227E 01 0.68684E 01 0.64727E 01 0.60096E 01 0.55209E 01 0.49547E 01
0.45694E 01 0.41357E 01 0.37389E 01 0.22914E 01 0.14858E 01 0.74124E 00
0.43562E 00 0.28469E 00
NOISE SPECTRUM N-N COMPONENT (NORMALIZED)
0.14257E 01 0.14251E 01 0.14242E 01 0.14219E 01 0.14186E 01 0.14144E 01
0.14094E 01 0.14035E 01 0.13969E 01 0.13896E 01 0.13816E 01 0.13337E 01
0.12781E 01 0.11661E 01 0.10720E 01 0.10000E 01 0.94612E 00 0.90534E 00
0.87365E 00 0.84819E 00 0.82702E 00 0.75141E 00 0.69187E 00 0.58008E 00
0.47742E 00 0.38994E 00 0.31895E 00 0.26273E 00 0.21852E 00 0.18367E 00
0.15601E 00 0.79172E-01 0.47569E-01 0.22949E-01 0.13692E-01 0.91672E-02
0.65885E-02 0.49675E-02 0.38777E-02 0.31087E-02 0.25455E-02 0.11567E-02
0.64848E-03 0.27767E-03 0.14715E-03 0.87631E-04 0.55780E-04 0.35079E-04
0.25973E-04 0.18577E-04 0.13600E-04 0.37105E-05 0.13557E-05 0.30208E-06
0.10055E-06 0.42427E-07

TEST NO.3 NEGATIVE CORE NOISE SOURCE
                                        240.0                                   *302
   6   56                                                                       *303
0.15916E-03 0.23873E-03 0.31831E-03 0.47746E-03 0.63662E-03 0.79577E-03
0.95493E-03 0.11141E-02 0.12732E-02 0.14324E-02 0.15915E-02 0.23873E-02
0.31831E-02 0.47746E-02 0.63662E-02 0.79577E-02 0.95493E-02 0.11141E-01
0.12732E-01 0.14324E-01 0.15916E-01 0.23873E-01 0.31831E-01 0.47746E-01
0.63662E-01 0.79577E-01 0.95493E-01 0.11141E 00 0.12732E 00 0.14324E 00
0.15915E 00 0.23873E 00 0.31831E 00 0.47746E 00 0.63662E 00 0.79577E 00
```

```
                                                                                PAGE   2

0.95493E 00 0.11141E 01 0.12732E 01 0.14324E 01 0.15915E 01 0.23873E 01
0.31831E 01 0.47746E 01 0.63662E 01 0.79577E 01 0.95493E 01 0.11408E 02
0.12732E 02 0.14324E 02 0.15916E 02 0.23873E 02 0.31831E 02 0.47746E 02
0.63662E 02 0.79577E 02
N-N,N-C AND C-C
0.10070E 01 0.10070E 01 0.10070E 01 0.10069E 01 0.10069E 01
0.10068E 01 0.10068E 01 0.10067E 01 0.10066E 01 0.10065E 01 0.10059E 01
0.10051E 01 0.10033E 01 0.10015E 01 0.10000E 01 0.99873E 00 0.99772E 00
0.99692E 00 0.99629E 00 0.99578E 00 0.99438E 00 0.99380E 00 0.99335E 00
0.99319E 00 0.99311E 00 0.99307E 00 0.99304E 00 0.99303E 00 0.99301E 00
0.99301E 00 0.99299E 00 0.99298E 00 0.99298E 00 0.99297E 00 0.99297E 00
0.99297E 00 0.99297E 00 0.99297E 00 0.99297E 00 0.99297E 00 0.99297E 00
0.99297E 00 0.99297E 00 0.99297E 00 0.99297E 00 0.99297E 00 0.99297E 00
0.99297E 00 0.99297E 00 0.99297E 00 0.99297E 00 0.99297E 00 0.99297E 00
0.99297E 00 0.99297E 00
N-TF AND C-TF
0.13077E 01 0.13074E 01 0.13070E 01 0.13059E 01 0.13043E 01 0.13022E 01
0.12998E 01 0.12969E 01 0.12936E 01 0.12899E 01 0.12859E 01 0.12604E 01
0.12281E 01 0.11573E 01 0.10736E 01 0.10000E 01 0.93386E 00 0.87499E 00
0.82278E 00 0.77460E 00 0.73098E 00 0.55555E 00 0.43012E 00 0.27642E 00
0.19620E 00 0.15132E 00 0.12420E 00 0.10667E 00 0.94672E-01 0.86044E-01
0.79573E-01 0.61807E-01 0.52566E-01 0.40158E-01 0.31057E-01 0.24214E-01
0.19118E-01 0.15322E-01 0.12471E-01 0.10300E-01 0.86238E-02 0.41658E-02
0.24170E-02 0.10990E-02 0.62319E-03 0.40035E-03 0.27859E-03 0.19548E-03
0.15703E-03 0.12414E-03 0.10059E-03 0.44751E-04 0.25181E-04 0.11194E-04
0.62972E-05 0.40303E-05
KAI F-F
0.10610E 01 0.10610E 01 0.10609E 01 0.10608E 01 0.10607E 01 0.10605E 01
0.10602E 01 0.10599E 01 0.10596E 01 0.10592E 01 0.10588E 01 0.10558E 01
0.10517E 01 0.10395E 01 0.10222E 01 0.10000E 01 0.97356E 00 0.94365E 00
0.91106E 00 0.87658E 00 0.84091E 00 0.66325E 00 0.51284E 00 0.31419E 00
0.23685E 00 0.14619E 00 0.10950E 00 0.85911E-01 0.69925E-01 0.58617E-01
0.50324E-01 0.29606E-01 0.21407E-01 0.13967E-01 0.10097E-01 0.76088E-02
0.58925E-02 0.46665E-02 0.37682E-02 0.30955E-02 0.25815E-02 0.12353E-02
0.7143 4E-03 0.32402E-03 0.18359E-03 0.11790E-03 0.8202 4E-04 0.57545E-04
0.46223E-04 0.36540E-04 0.29608E-04 0.13170E-04 0.74105E-05 0.32942E-05
0.18532E-05 0.11861E-05
KAI T-T AND M-M
0.10096E 01 0.10096E 01 0.10096E 01 0.10097E 01 0.10098E 01
0.10098E 01 0.10099E 01 0.10100E 01 0.10101E 01 0.10103E 01 0.10109E 01
0.10114E 01 0.10109E 01 0.10073E 01 0.10000E 01 0.98918E 00 0.97535E 00
0.95914E 00 0.94119E 00 0.92204E 00 0.82248E 00 0.73571E 00 0.61926E 00
0.55498E 00 0.51736E 00 0.49325E 00 0.47635E 00 0.46346E 00 0.45290E 00
0.44373E 00 0.40525E 00 0.36872E 00 0.29688E 00 0.23409E 00 0.18419E 00
0.14616E 00 0.11750E 00 0.95818E-01 0.79251E-01 0.66416E-01 0.32157E-01
0.18673E-01 0.84950E-02 0.48183E-02 0.30957E-02 0.21543E-02 0.15117E-02
0.12143E-02 0.96002E-03 0.77793E-03 0.34608E-03 0.19474E-03 0.86570E-04
0.48700E-04 0.31169E-04
KAI R-R
0.10652E 01 0.10651E 01 0.10651E 01 0.10650E 01 0.10648E 01 0.10646E 01
0.10643E 01 0.10639E 01 0.10636E 01 0.10631E 01 0.10626E 01 0.10594E 01
0.10548E 01 0.10416E 01 0.10232E 01 0.10000E 01 0.97262E 00 0.94186E 00
0.90849E 00 0.87328E 00 0.83693E 00 0.63645E 00 0.50395E 00 0.30273E 00
0.19407E 00 0.13271E 00 0.95661E-01 0.71880E-01 0.55818E-01 0.44508E-01
0.36264E-01 0.16220E-01 0.90432E-02 0.59035E-02 0.21311E-02 0.13299E-02
0.90536E-03 0.65501E-03 0.49559E-03 0.38801E-03 0.31204E-03 0.13602E-03
0.75919E-04 0.33543E-04 0.18828E-04 0.12038E-04 0.83549E-05 0.58519E-05
0.46970E-05 0.37107E-05 0.30053E-05 0.13354E-05 0.75108E-06 0.33379E-06
0.18775E-06 0.12016E-06
SECOND MOMENT
```

```
                                                                                PAGE   3

0.98824E 00 0.98825E 00 0.98827E 00 0.98832E 00 0.98840E 00 0.98850E 00
0.98862E 00 0.98876E 00 0.98892E 00 0.98909E 00 0.98929E 00 0.99049E 00
0.99196E 00 0.99516E 00 0.99799E 00 0.10000E 01 0.10011E 01 0.10014E 01
0.10011E 01 0.10003E 01 0.99908E 00 0.99065E 00 0.98214E 00 0.97018E 00
0.96353E 00 0.95972E 00 0.95739E 00 0.95587E 00 0.95482E 00 0.95406E 00
0.95349E 00 0.95185E 00 0.95094E 00 0.94963E 00 0.94863E 00 0.94787E 00
0.94731E 00 0.94685E 00 0.94650E 00 0.94632E 00 0.94613E 00 0.94563E 00
0.94543E 00 0.94528E 00 0.94522E 00 0.94520E 00 0.94519E 00 0.94518E 00
0.94518E 00 0.94517E 00 0.94517E 00 0.94516E 00 0.94516E 00 0.94516E 00
0.94516E 00 0.94516E 00
```

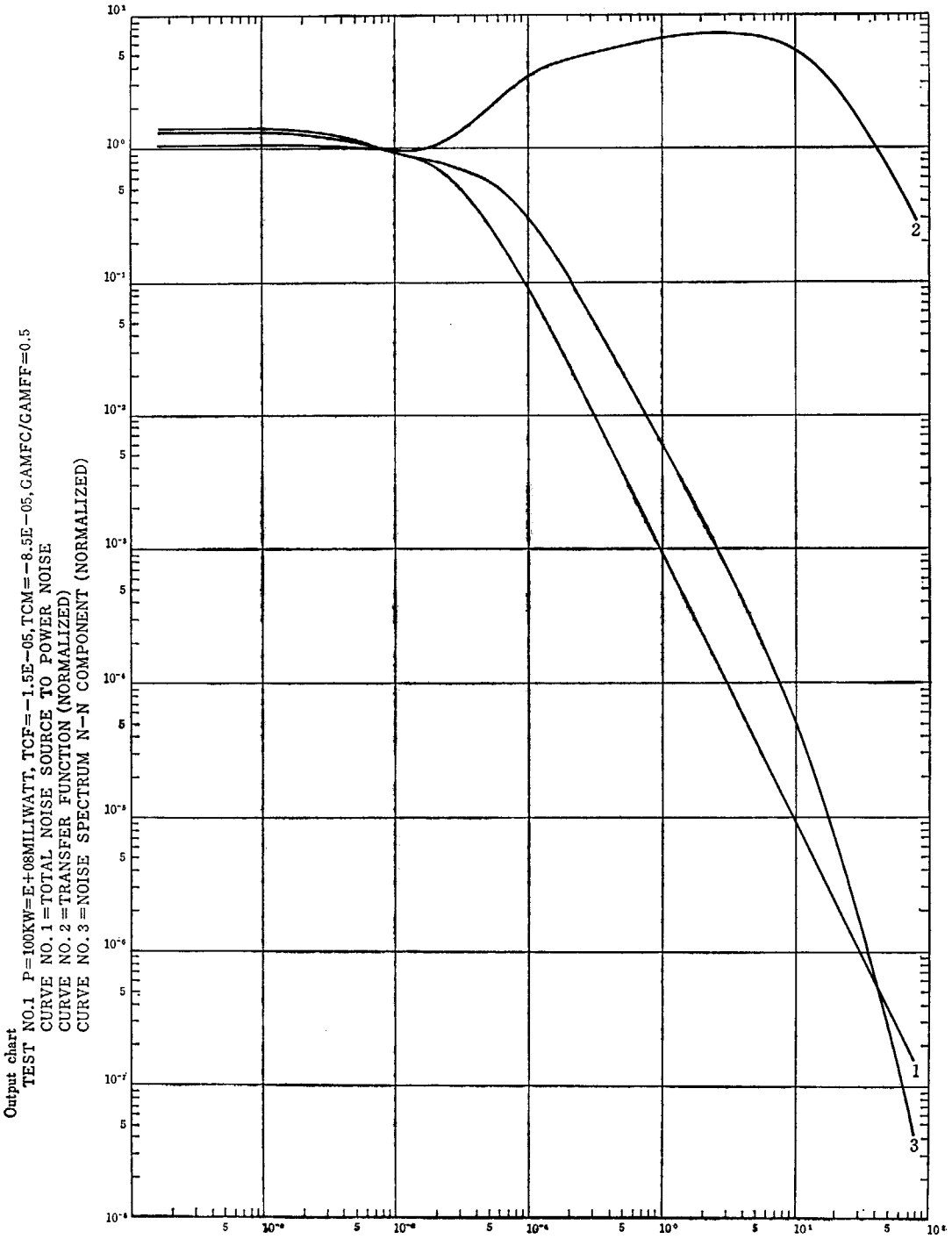

Fig. 4 プロッターでプロットしたものを 2/3 に縮尺した

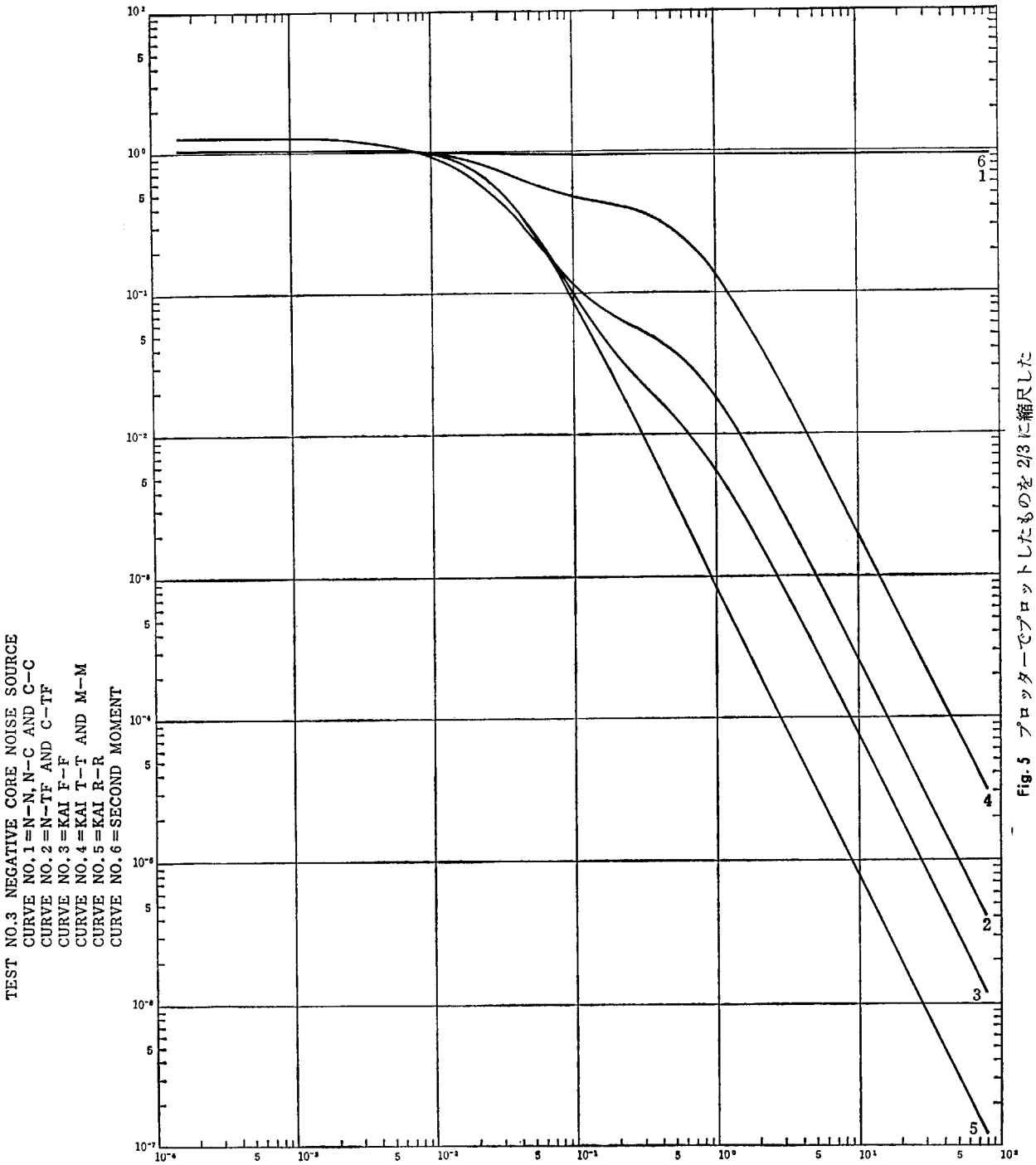

Fig. 5 プロッターでプロットしたものを2/3に縮尺した

Appendix V NESFIT コードとその入力形式

この補助コードの機能については，FITING (p. 14) の項を参照されたし．

1. 入力形式 (Input)

NESAP と同形式の入力データ* (#01 から #17 まで) の後に次のデータをつけ加える．

201 format (12A6) : NESFIT problem idenlification.

202 format (8I5) : (NOPF(I), I=1,4).

Options for calculation.

Put NOPF(1)=0.

Put NOPF(2)≠0, if experimental data are of the power noise.

Put NOPF(3)≠0, if experimental data are of the fuel temperature noise.

Put NOPF(4)≠0, if experimental data are of the coolant temperature noise.

If NOPF(5)≠0, the frequency, the input and the fitted value of noise source are output by cards.

203 format(2I5).

IB4 : Option.

If IB4=1, ω_{min}=E(1) and ω_{max}=E(III).

If IB4=2, ω_{min} and ω_{max} are read by #206 card, where ω_{min} and ω_{max} are the lower and the upper end of the fitting range, respectively.

LMAX : Option

Put LMAX=2, when $a_7=a_8$ in Eq. (120).

=3, when $a_7 \neq a_8$.

204 format (2E12.5).

WWW : scaling factor W.

SCALE : scaling factor W_s.

205 format (2I5, 2E12.5)

III : Number of experimental data point (≤100)

IXY : Option. If IXY = 0, the exponential transform of the data will be performed. (cf. #206)

UX : Distance of a decade in the X-axis of the Log-Log section paper.

UY : Distance of a decade in the Y-axis of the Log-Log section paper.

206 format (6E12.5) (E(I), XSECT(I), I=1, III).

E(I) : Frequency point of the I-th data.

XSECT(I) : Input noise source strength of the I-th data.

If IXY≠0, E(I), XSECT(I) are transformed as follows :

E(I)=10.**(E(I)/UX)

XSECT(I)=SCALE*10.**(XSECT(I)/UY)

The resultant will be fitted.

---

* 入力カード #02 で NP は1とする．

207 format (2E12.5) : Required only if IB4=2.

EMIN ; ω_{min} の値.

EMAX ; ω_{max} の値.

208 format (6(E11.4,I1)) (AA(I),ICPA(I)I=1, LMAX).

If ICPA(I)=0, AA(I) is an initial guess of a_I.

If ICPA(I)=1, AA(I) is the fixed constant of a_I.

209 format (4E12.5,I5) : Convergence criteria.

EPS1 : Convergence of parameter.

$\varepsilon_1 > |a_i^{(New)} - a_i^{(old)}| / |a_i^{(New)}|$.

EPS2 : Ratio of sum of squares.

$\varepsilon_2 > S_q / \sum_{i=1}^{III} I_M^2(\omega_i)\, W$.

EPS3 : Relative error of pointwise data.

$\varepsilon_3 > |I_M(\omega_i) - I(\omega_i)| / I_M(\omega_i)$.

NLOOP : Number of iteration.

The iteration continues until one of the above is satisfied.

210 format (I5).

IPR : Control to obtain more detailed print out of the behavior at each iteration. It is suppressed by setting IPR to zero.

2. 出力形式 (Output)

2.1 リスト (List)

NESAP 出力 #01, #10, #11 の他に，次のデータが出力される．

201 NESFIT problem identification.

202 Input values of AA(I), I=1, LMAX.

203 Values of E(I)and XSECT(I), I=1, III.

204 Input values of EPS 1, EPS 2, EPS 3, NLOOP.

205* Information after each iteration.

- the number of iteration.
- STD, DEV : standard deviation.
- RATIO : the ratio of the sum of squares of the deviations to the sum of XSECT(I)**2.
- the value of determinant of the normal equation.
- Only if IPR ≠ 0.
  - a) the number of iteration.
  - b) the value of h for the iteration.
  - c) the weighted sum of squares of the deviations based on the starting values of the parameters for the iteration.
  - d) the initial estimates of the parameters, the starting values of the parameters for that iteration, the corrected values at the end of the iteration, and the B_j given by the solution of the equations for that iteration.

206* only if IPR ≠ 0, upon satisfying the convergence criterion,

i) the matrix of the normal equation set up for the final iteration.
ii) the value of the determinant.
iii) the inverse matrix.
iv) the number of iterations.

207* The weighted variance and the unweighted sum of the deviations.

208* The initial estimates, the final value, the standard deviations of the parameters and the final state of the both sides of the exact least squares equations.

209* A matrix of coefficients of correlation between the free(non-constant) parameters is printed out.

210 For each data point,

i) FREQUENCY, E(I).
ii) WEIGHT : scaling factor, W.
iii) INPUT NOISE SOURCE, XSECT(I).
iv) DEPENDENT VARIABLE, XSECT(I).
v) CALCULATED INPUT NOISE SOURCE.
vi) ABS ERROR : absolute error.
vii) REL ERROR : relative error.

---

* cf. Ref. (24)

2.2 カード (Cards)

If NOPF(5)≠0, the following data are output by cards (format(6E12.5)) :

♯ 220 Frequency*, E(I), I=1, III.

♯ 221 Input value of the input noise source*, XSECT(I), I=1, III.

♯ 222 Calculated value of the input noise source for each data point.

* Modified as explained in ♯206, if IXY ≠ 0