

文献調査委員会

モンテ・カルロ法を応用した構造物の安全性  
*Proc. of A.S.C.E., ST/大槻 護*  
 浮体の設計におけるねじりモーメントについて  
*Proc. of A.S.C.E., WW/木本 英明*  
 高速フーリエ変換 (FFT) とは何か  
*I.E.E.E., Audio and Electroacoustics/花田 和史*  
 中小規模の発電用原子炉  
*Nuclear Engineering International/田中 協一*

モンテ・カルロ法を応用した  
 構造物の安全性

“Monte Carlo Study of Structural Safty”  
 Warner, R.F. & Kabaila, A.P.  
 Proc. of A.S.C.E., ST Vol. 94, No. 12,  
 pp. 2847~2859, December (1968)

(1) 序 説

構造物に加わる荷重の大きさや分布のしかた、構造物に用いる材料の性質、実際の構造物の応答等に現に発生するばらつきが、最近の研究で強調されている。これらの避け得ないばらつきが存在するので、構造物の安全性を考えると、必然的に過荷重や強度不足の確率、信頼性の概念を導入することになる。安全率

$$S = \frac{P}{W} \dots\dots\dots(1)$$

は、しばしば荷重  $W$  を受ける強度  $P$  の構造物の崩壊に対する安全性を測る尺度として用いられている。

Basler の研究では、安全領域

$$Z = P - W \dots\dots\dots(2)$$

が用いられている。 $P$  と  $W$  が密度関数  $f_P$  と  $f_W$  を伴う確率変数のとき、 $S$  と  $Z$  も密度関数  $f_S$ ,  $f_Z$  を伴う確率変数である。

$N$  個の荷重項  $W_i$  を有する  $N$  個の極限状態のときの構造物の応答  $R_i$  の集合を考える場合

$$S_i = \frac{R_i}{W_i} \dots\dots\dots(3)$$

あるいは

$$Z_i = R_i - W_i \dots\dots\dots(4)$$

は、構造物の安全性を測る尺度として用いてよい。

応答項  $R_i$  は構造物の形や寸法を決定する幾何学的なパラメーターと材料の種々の性質の両方の関数であり、

$$R_i = \phi_i [X_1, X_2, \dots, X_n] \dots\dots\dots(5)$$

である。 $X_j$  は通常密度関数  $f_{X_j}$  を伴う確率変数であるから、 $R_i$  自身も密度関数  $f_{R_i}$  と累積分布  $F_{R_i}$  を伴う確率変数である。式 (5) の  $X_j$  が確率的に独立ならば、それらの結合密度関数は、

$$f(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_n) = \prod_{j=1}^n f_{X_j}(x_j) \dots\dots\dots(6)$$

であり、ある特定の値  $r$  以下に落ちる応答  $R$  の確率は

$$F_R(r) = P(R \leq r) = \int_G \dots \int \prod_{j=1}^n f_{X_j}(x_j) dx_j \dots\dots(7)$$

である。

$Z$  (あるいは  $S$ ) の分布は同様にして

$$F_Z(z) = P(Z \leq z) = \int_H \int f_R(r) f_W(w) dr dw \dots\dots(8)$$

あるいはより直接的に

$$F_Z(z) = \int_H \dots \int f_W(w) dw \prod_{j=1}^n f_{X_j}(x_j) dx_j \dots\dots(9)$$

である。

構造物の安全性を理論的に発展させるにはこれらを押進めればよいが、実際の設計に应用するには非常に大きな困難が生じる。

(2) モンテ・カルロ法

高速デジタルコンピューターが普及するならば、単純なモンテカルロ法が分布  $F_R(r)$  を得るのに簡単に用いられる。この方法は次の3ステップからなっている。

- 1) 経験的に決定されるか仮定される密度関数  $f_{X_j}$  を伴う材料の性質と幾何学的パラメーター  $X_j$  に対する  $x_{jk}$  の集合を発生させること。
- 2) 応答方程式によって、1) で得られた  $x_{jk}$  の集合に関する  $r_R$  を計算すること。
- 3)  $R$  の大きな標本を得るために 1), 2) を繰り返し、さらに  $F_R(r)$  を求めること。

この方法は、また  $S$  と  $Z$  の分布を求めるのにも用いられる。さらに密度関数  $f_W$  を伴う  $W$  を求めることと  $S$  と  $Z$  を計算するために式 (5) と式 (3) または式 (4) を組合せることが必要となる。

密度関数  $f_{X_j}$  から  $k$  番目の集合  $x_{jk}$  を求めるための便利な方法は、まず  $0 \leq d \leq 1.0$

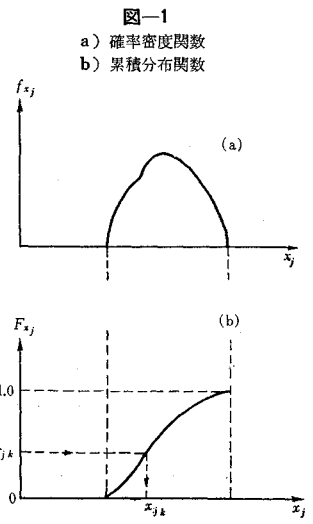


図-1  
 a) 確率密度関数  
 b) 累積分布関数

に一様分布の  $n$  個の乱数  $d_{jk}$  を発生させることである。 $x_{jk}$  は 図-1 に示すごとく

$$d_{jk} = F_{X_j}(x_{jk}) \dots\dots\dots(12)$$

で得られる。式 (12) はまた

$$x_{jk} = F_{X_j}^{-1}(d_{jk}) \dots\dots\dots(12a)$$

とも書かれる。ここで  $F_{X_j}^{-1}$  は  $F_{X_j}$  の逆である。

### (3) 軸方向荷重を受ける鉄筋コンクリート柱

一般に、極限強度  $P_u$  は、

$$P_u = k f_c' A_c + f_{sy} A_s \dots\dots\dots(13)$$

と表わされる。 $k f_c'$  : コンクリート強度,  $f_{sy}$  : 鉄筋の降伏強度,  $A_c$  : コンクリート断面積。

簡単のために、式 (13) は

$$Y = AB + uC \dots\dots\dots(14)$$

と表わされる。ここで鉄筋断面積  $u$  はばらつきがないものとし、 $Y, A, B, C$  (すなわち、 $P_u, k f_c', A_c, f_{sy}$ ) は、密度関数  $f_Y, f_A, f_B, f_C$  を有する確率変数である。

モンテ・カルロ法による結果と解析解を比較するために、矩形一様密度関数を各確率変数と仮定する。ここでこの方法は、このような関数にのみ限定されるのではなく、経験的なまた理論的な密度関数の双方に適用できることを強調しておく。

さらにまたこの方法は、崩壊に対する安全性のみならず、極限状態の研究にも有効である。次の式 (15) を仮定し、

$$\left. \begin{aligned} f_A(a) &= \frac{1}{s_2 - s_1} & s_1 \leq A \leq s_2 \\ f_B(b) &= \frac{1}{b_2 - b_1} & b_1 \leq B \leq b_2 \\ f_C(c) &= \frac{1}{c_2 - c_1} & c_1 \leq C \leq c_2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(15)$$

式 (16) から  $A, B, C$  の標本値を発生させた結果が 図-2 である。

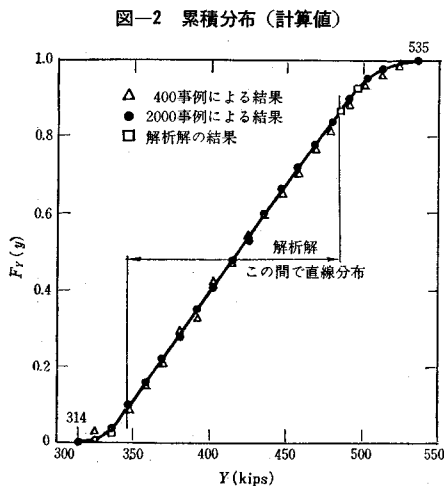


図-2 累積分布 (計算値)

$$\left. \begin{aligned} a_k &= a_1 + (a_2 - a_1)d_i \\ b_k &= b_1 + (b_2 - b_1)d_{(i+1)} \\ c_k &= c_1 + (c_2 - c_1)d_{(i+2)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(16)$$

ここで  $d_i, d_{(i+1)}, d_{(i+2)}$  は  $0 \leq d \leq 1.0$  の独立な一様乱数である。

図-2 からわかるように、このモンテ・カルロ法を用いた解は、解析解とよく一致していることがわかる。

### (4) 標本抽出

$R, S$  あるいは  $Z$  の累積分布関数に関する情報は、モンテ・カルロ法でシミュレートされた十分大きな標本値を必要とするが、小部分の分布でも安全性を考えるには有効であるので、ここでは2つの標本抽出法を述べている。

### (5) 結 言

構造物や構造物の部材の強度、使用限界等を左右する材料の種々の性質および幾何学的なパラメーターは広範な避け得ないばらつきを有している。このばらつきは、ここで概略を述べたようにモンテ・カルロ法を用いて構造物の安全性を考慮するさい取り入れられる。

ここでは簡単な例について述べたが、もっと複雑なものに対して適用可能である。

この方法の重要な点は、確率変数の密度関数の形が既知でも仮定のものであってもよいという点である。

(委員 大槻 謙)

## 浮体の設計におけるねじりモーメントについて

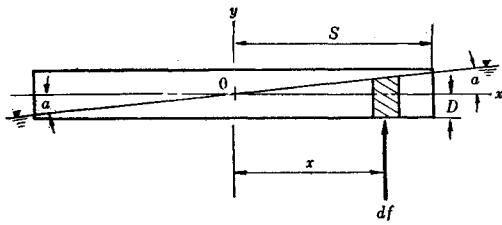
“Consideration of Torsional Moment in Design of a Floating Structure”  
Sonnischen, Jr., J.C.  
Proc. of A.S.C.E., WW Vol. 9, No. 1,  
pp. 35~42, February (1969)

浮体構造物の設計に際し、応力状況や種々のモーメントに対する波浪の影響について、今日まで多くの実験研究がなされてきたが、移動が自由の回転体に限られていたようである。ここでは幾何学的に方向の定まった波浪水路になかば沈み、固定された直方体の角柱についてのねじりモーメントの考察を述べたものである。

### (1) 理論展開

長波長の場合 モーメント スペクトルの一方の端の  $\sigma$  (周波数) が小さい場合は、波長が構造物のサイズより大きくなり、波エネルギーが反射されることなく伝播され得る。浮体が  $\theta$  を中心にして角度  $\alpha$  で傾くと仮定すると  $\theta$  のまわりのねじりモーメントが生じる (図-1)。

図-1 概要図



図のように、座標軸をとって、0のまわりのねじれ (torque) は次のようになる。

$$d(\text{torque})_t = df_{x,t}(x) \dots \dots \dots (1)$$

ただし

$$df = p x dx(L) \dots \dots \dots (2)$$

L: 座標軸にそった単位長

一方、重力波の線型理論によれば、波圧の変動は次の関係式で表わせる。

$$d p = -\rho \frac{\partial \phi}{\partial t} = \eta g \rho \frac{\cosh K(h+y)}{\cosh Kh} \dots \dots \dots (3)$$

$\rho$ : 流体密度,  $\phi$ : 速度ポテンシャル,  $g$ : 重力加速度,  $K$ :  $2\pi/\lambda$  波数,  $\lambda$ : 波長,  $h$ : 平均水深,  $\eta$ : 水位

ここで  $y$  が 0 点近くになると、式 (3) は

$$d p = \eta g \rho \dots \dots \dots (4)$$

となる。ところが、 $\eta = a \sin(Kx - \sigma t)$  ( $a$ : 振幅) で表わせるから、式 (4) は

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial x} &= g \rho K a \cos(Kx - \sigma t) \\ \frac{\partial p}{\partial x}(\text{max}) &= g \rho K a \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

となる。したがって

$$p x(\text{max}) = g \rho K a x \dots \dots \dots (6)$$

式 (1), (2), (6) より

$$\left. \begin{aligned} \text{torque}(\text{max}) &= 2 \int_{x=0}^{x=S} \rho g K a (L) x^2 dx \\ \text{torque}(\text{max}) &= \frac{2}{3} S^3 \rho g K a (L) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (7)$$

となる。

短波長の場合、モーメントスペクトルの他方の端、 $\sigma \rightarrow \infty$  に近づくと、波長は構造物のサイズよりも小さくなり、波エネルギーは構造物により全部反射してしまう。

中波長の場合  $\sigma$  が大きくなれば、波長は小さくなる。この時は式 (7) の時の浮体構造物が角度  $\alpha$  で振動するという仮定は成り立たない。したがって、模型実験よりアプローチした。

(2) 模型実験

この実験の装置は延長 60 ft (18 m), 幅 2 ft (60 cm), 水深 2 ft のタンクを使用した。装置の配置は 図-2 に示す。実験波は  $T=0.6 \sim 2.0$  sec,  $a=0.005 \sim 0.100$  ft

である。実験装置の限界から  $\sigma^2 S/g = 0.10 \sim 3.56$  の範囲で実験は行なわれたが、そのデータは、表-1 に示す。図-3 はデータを図にプロットしたものである。最大モーメントは  $\sigma^2 S/g = 0.4$  のときに生じている。この前後は、モーメントは小さくなっている。前述したように、 $\sigma^2 S/g$  が大きくなるとモーメント (torque/ $L \rho g a S^2$ ) は 0 に近づき、 $\sigma^2 S/g$  が小さくなると式 (7) によってモーメントは示される。

$c=(gh)^{1/2}$  (波速) として 図-3 の曲線の位置を合わせると式 (7) は

図-2 実験装置の配置

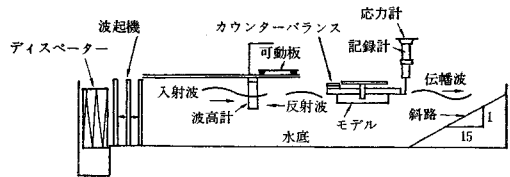


図-3 モーメントスペクトル

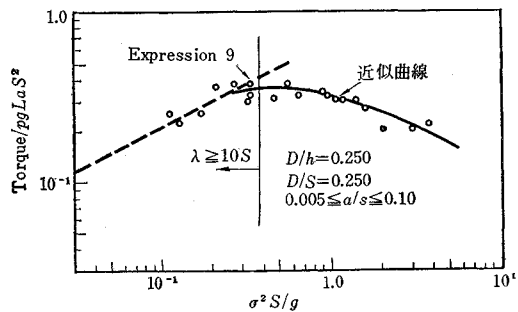


表-1 実験結果

T, in seconds (1)	$\sigma^2 S/g$ (2)	a, in feet (3)	Torque, in foot-pounds (4)	$\frac{\text{torque}}{L \rho g a S^2}$ (5)
0.60	3.56	0.035	1.00	0.220
0.65	3.04	0.038	1.00	0.202
0.80	2.00	0.038	1.00	0.202
0.90	1.58	0.030	1.06	0.274
0.96	1.38	0.045	1.79	0.309
1.06	1.14	0.045	1.78	0.309
1.10	1.05	0.025	1.00	0.308
1.15	0.960	0.030	1.26	0.325
1.20	0.890	0.043	1.85	0.334
1.40	0.650	0.035	1.50	0.332
1.52	0.550	0.043	2.11	0.380
1.67	0.460	0.050	2.01	0.312
1.92	0.336	0.032	1.57	0.379
1.95	0.330	0.035	1.44	0.318
2.00	0.320	0.035	1.38	0.306
2.20	0.264	0.029	1.39	0.372
2.50	0.205	0.025	1.19	0.369
2.80	0.163	0.032	1.06	0.256
3.20	0.124	0.035	1.05	0.227
3.40	0.110	0.030	1.00	0.256

a)  $S=1.041$  feet;  $g=32.2$  feet per second;  $\rho=1.94$  slugs per cubic foot; and  $L=1.915$  feet.

$$\text{torque} = \frac{2}{3} S^3 a \rho g(L) \frac{\sigma}{(gh)^{1/2}} \dots\dots\dots (8)$$

となる。\$L \rho g a S^2\$ で割ると

$$\frac{\text{torque}}{L \rho g a S^2} = 0.67 \frac{S \sigma}{(gh)^{1/2}} \dots\dots\dots (9)$$

となる。\$h/S \simeq 1.0\$ とすると

$$\frac{\text{torque}}{L \rho g a S^2} = 0.67 \left( \frac{\sigma^2 S}{g} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (10)$$

となる。図-3を参照すると式(10)は非常に小さい周波数の波におけるときのねじりモーメントの状況を示している。

(委員 木本 英明)

### 高速フーリエ変換 (FFT) とは何か

“What is the Fast Fourier Transform?”

(FFT とその応用に関する特集号巻頭論文)

G-AE 小委員会 (J.W. Cooley, 外 9 名)

IEEE., Audio and Electroacoustics Vol. AU-15,

No. 2, pp. 45~55, June (1967)

#### (1) 序 言

従来の方法にくらべて、非常に計算量の少なくてすむフーリエ係数の計算法が、1965年にCooleyとTukeyによって報告された。有限離散フーリエ変換(DFT)を効果的に計算するこの方法はFast Fourier Transform(FFT)という名ですでに広く知られ、デジタルスペクトル解析、フィルタシミュレーション、パターン認識、等の分野に変革を起してきた。表-1に従来の直接法と、FFTによる諸関数計算に必要な乗算数の比較を示したが、例えば、8192点の標本より同数のDFTをIBM 7094を用いて計算するのに、直接法では約30分要するのに対して、FFTによればわずか5秒であったという。また、計算量が実質的に少ないため、FFTによる計算では、丸めの誤差の集積が非常に小さくなる点も注目に値する。

表-1 直接法とFFTによる必要乗算数の比較

操 作	公 式	概 数	
		直接法	FFT
DFT	$\sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{-2\pi jrk/N}$ $r=1, 2, \dots, N-1$	$N^2$	$2N \log_2 N$
フィルタ	$\sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot Y_{u-k}$ $u=0, 1, \dots, N-1$	$N^2$	$3N \log_2 N$
自己相関関数	$\sum_{k=0}^{N-1-r} X_k \cdot X_{r+k}$ $r=0, 1, \dots, N-1$	$\frac{N}{4} \left( \frac{N}{2} + 3 \right)$	$3N \log_2 N$
パターン認識	$\sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} X_{k,l} e^{-2\pi j(kq+r)N}$ $r, q=0, 1, \dots, N-1$	$N^4$	$4N^2 \log_2 N$
二元フィルタ	$\sum_{k=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} X_{k,l} Y_{q-k, r-l}$ $q, r=1, 2, \dots, N-1$	$N^4$	$3N^2 \log_2 N$

#### (2) DFT とその性質

DFT は次式で定義される。

$$A_r = \sum_{k=0}^{N-1} X_k \cdot W^{rk} \quad r=0, 1, 2, \dots, N-1 \dots\dots (1)$$

$$W = \exp(-2\pi j/N) \dots\dots\dots (2)$$

ただし、\$A\_r\$ は DFT の \$r\$ 番目の係数、\$X\_r\$ は \$N\$ 個の標本を有する時系列の \$r\$ 番目の標本、\$r\$ は DFT の振動数、そして、\$j\$ は虚数単位を示している。

サンプリング定理によれば、周波数空間で有限帯域の連続波形は、最高次振動周期の \$1/2\$ 以下の間隔で標本を採ることにより、離散値で表現される。等時間間隔で採られたこのような標本は、Nyquist 標本と呼ばれる。

#### (3) FFT の原理

\$N\$ 個の Nyquist 標本よりなる時系列 \$X\_k\$ を次式に示す 2 組の時系列に分けて考える。

$$\begin{cases} Y_k = X_{2k} & k=0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2}-1 \dots\dots (3) \\ Z_k = X_{2k+1} \end{cases}$$

{Y\_k}, {Z\_k} はそれぞれ次の DFT をもっている。

$$\begin{cases} B_r = \sum_{k=0}^{N/2} Y_k W^{-2rk} \\ C_r = \sum_{k=0}^{N/2} Z_k W^{-2rk} \end{cases} \dots\dots\dots (4)$$

また、式(1)、(16)より \$X\_r\$ の DFT: \$A\_r\$ は \$B\_r, C\_r\$ を用いて次式で表わされる。

$$\begin{cases} A_r = B_r + W^r C_r \\ A_{r+N/2} = B_r - W^r C_r \end{cases} \quad (0 \leq r < N/2) \dots (5)$$

したがって、われわれは \$B\_r, C\_r\$ を知ることができれば、式(5)を用いて、\$A\_r\$ を計算できる。\$N=8\$ の場合の流れ図を図-1に示した。図中の節点は計算値を表わし、矢は単位のまたは重みのある伝達を表わす。

例えば、\$A\_0 = B\_0 + W\_0 C\_0\$。

もちろん、このような分割は \$N\$ が含む 2 の乗幅数だけ可能であり、式(1)より明らかなように、1点標本の DFT は、その点の値自身であるから、\$N=2^n\$ の場合には、\$n\$ 回の分割を行なえる。このようにして、図-1

の箱を開けば、図-2を得ることができる。

上述のように、部分的なフーリエ変換を行なって、重みとなる回転因子を乗じ、さらにフーリエ変換を行なうという逐次的算法が、FFT の原理である。

#### (4) その他の考察

図-2にみられるように、入力点となる部分集合の選び方、流れ

図-1  $N/2$  個の DFT より  $N$  個の DFT を求める流れ図 ( $N=8$ )

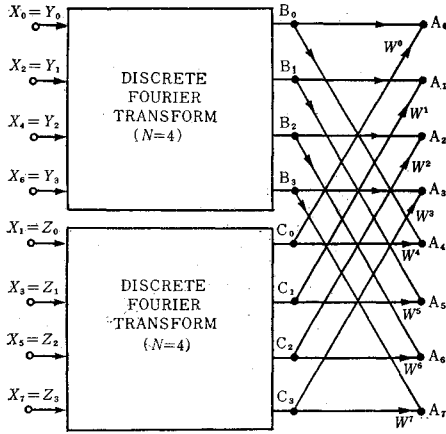


図-2 流れ図 (例1)

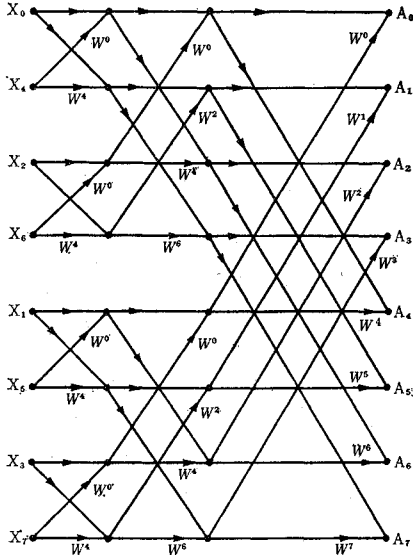


図-3 流れ図 (例2)

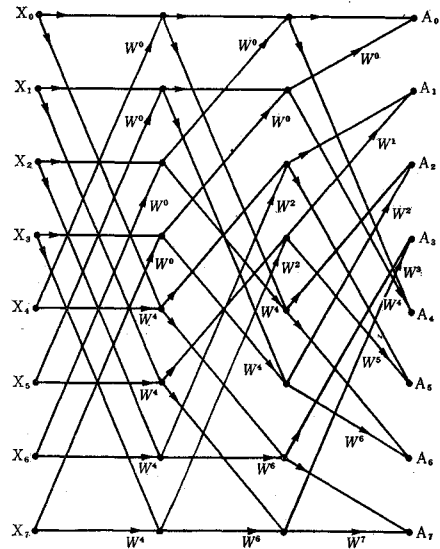
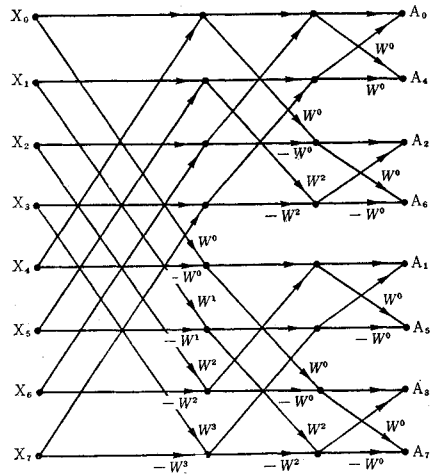


図-4 流れ図 (例3)



方向 (計算順序) に関連する  $W$  の求め方, および各出力値のストック方法が, プログラミングに際して問題となる。

図-2 の入力順序では, ある種の bit-reversed order (添字を 2 進表示し反転させた順序) をとっているため平行な矢印が存在し, 余分のメモリーを必要としない。図-3 の例では, 入出力ともに自然順序をとったため, 平行な矢印が消えている。また, DFT の逆変換の道をたどって, 図-4 の流れ図を得ることができる。

図-2~図-4 の他にも種々の変形を行なえるが, ストック方法と計算順序がともに簡便である流れ図は作成できない。

(委員 花田 和史)

### 中小規模の発電用原子炉

“Small and Medium-Size Power Reactors”  
 Kruck, P.H. and Ristic, M.D.  
 Nuclear Engineering, International  
 Vol. 14, No. 154 March (1969)

#### (1) まえがき

世界のエネルギー消費量は, 1955 年度 3 300 MTCE (石炭換算 100 万 t), 1965 年度 5 300 MTCE で年間 5% 平均の増加率となっており, 1980 年度は 10 000 M TCE と推定されている。全エネルギー中に占める電力エネルギーの割合は 1966 年度 25%, 1980 年度推定 35% で年間増加率 6.4% である。電力需要の伸びが, このようにかなり大きいため, より大容量の発電所の建設へと向かう傾向にある。この傾向は工業先進国各国で見ら

れ、特にアメリカの場合極端である。しかし、世界中の国々全体が大容量発電所の建設の傾向にあるわけではなく、工業先進国を除けば大容量発電所を受け入れることのできない国が大部分である。

原子力発電所についても、同じことがいえるのであるが、スケール・メリットおよび工業先進国における大容量発電所の需要急増のために、中小規模発電所の開発は見過ごされている。この問題に関する資料の必要性を認め、IAEA では 50~300 MWe の範囲の原子炉についてのパネルを昨年 6 月ウィーンで行なった。以下、その時に出された資料についての検討およびその後 IAEA で行なわれた幾つかの研究について記す。

## (2) 中小規模発電所に対する需要

原子力発電の実用性の検討が多くの国で行なわれているが、現在ある火力発電所・原子力発電所のコストレベルによって、容量を 300~500 MWe に限って検討しているのが現状である。この範囲の原子力発電所を受け入れることのできる開発途上国は限られており、大部分は対象外となる。より広い視野に立って実用性を検討するには、容量を限定しないで、対象とする地域における経済・技術・政策面のファクターから適当な容量および炉形式を導き出さねばならない（輸入される石油燃料の価格などは大きなファクターとなる）。

スケール・メリットによって発電用原子炉の規模は大きくなる傾向にあるが、電力事情とか地域の経済事情などに関連したもので、容量が小さい方が有利だという他のファクターも幾つかある。例えばアラブ連合の場合には、1972 年までの電力事情を考えると発電所の単基容量の上限は 150 MWe となる。その他資金調達の問題なども考えねばならぬファクターである。

このような事情は何もアラブ連合だけに特有なものではなく、同じようなことが、多くの開発途上国にもいえる。例をあげれば、アルゼンチンのコルドバ地方で、1980 年までに受け入れられる単基容量の上限は 150 MWe、ブラジル南部地方で 200 MWe、イスラエルで 300 MWe、インド・パキスタンでは、150~300 MWe である。しかも、この規模のものでさえ 1980 年頃までに受け入れることのできない開発途上国が少なくとも 20 カ国はある。

そこで、1980 年までの中小規模の原子力発電所の市場としては 50 基というのが妥当な線であろう。しかも現在余り開発の進んでいない多くの国で開発が進めば、1980 年以降の市場はさらに拡大していくであろう。

## (3) 技術および経済の現状

火力発電所では、種々の技術進歩により容量当りの所

表-1 火力発電所における所要面積、資本費の推移

	1948	1953	1955	1960	1965
発電所所要面積 (m <sup>2</sup> /MWe)	40	21	15	12	9
資本費 (S/kWe)	195	195	175	115	95

表-2 火力・原子力の燃料比較

	火力	原子力	
		軽水炉 (濃縮ウラン)	重水炉 (天然ウラン)
熱量 (10 <sup>4</sup> BTU/kg)	3.0	8500 000	8500 000
燃料価格 (C/kg)	1.0	34000	8500
エネルギーコスト (C/10 <sup>6</sup> BTU)	30.0	0.4	0.1
エネルギー効率 (%)	100.0	2	1
燃料コスト (mill/kWh)	3.0~4.0	1.5~2.0	0.8~1.1

要敷地面積は減少し、資本費も下がった（表-1）。火力発電所の進歩の度合は減少しており、将来原子力発電所の進歩の度合より小さくなるものと見られている。現在原子力発電所の資本費は火力発電所に比べて高いけれども、燃料コストが低いので、資本費の分はかなり帳消しになっている。これは、表-2 に見られるとおり、これらの燃料そのものの違いによるものである。原子燃料の効率がかなり悪いというのは、原子力発電所には、かなり改良の余地があることを示している。

現在、長期の運転経験によって実証され、世界の市場において発電用原子炉として競合できる炉形式としてはマグノックス炉と軽水炉があげられるが、マグノックス炉は炉心出力密度が低いので容積が大きく、複雑なものになり、資本費、運転費、維持費がかなり高くなるから近い将来取り上げられなくなるであろう。重水減速炉が最近かなり注目をあびている。まだ十分に開発されてもおらず、開発態勢もバラバラなのに、多くの開発途上国が重水炉に注目しているのは、次の理由による。

- ① 天然ウランを使用するので市場が限定されない。
- ② 国内産のウランとか原子炉でできた燃料を使用できる可能性がある。
- ③ 外貨の節約になる。

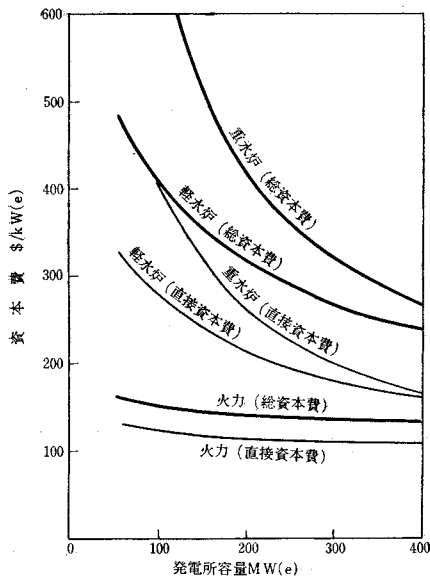
したがって、重水炉は中小規模の発電用原子炉へ適用するに際して、特別の利点を持っているように思われる。

現在、経済性に関して完全なデータの揃っているのは軽水炉および重水炉であるが、軽水炉・重水炉および火力発電所について発電所容量と kWe 当りの総資本費、直接資本費の関係を 図-1 にあらわしてある。

## (4) 技術および経済の将来の可能性

各種機器メーカーが見積った直接資本費の縮小および間接資本費の節減を考慮して、150 MWe の試験プラントについてコストダウンの可能性を出して見たのが、

図一 発電所容量と資本費の関係



表一3 150 MWe 原子力発電所のコストダウン

	軽水炉(加圧水型)		重水炉(天然ウラン)	
	現在	将来	現在	将来
直接資本費(\$/kWe)	240	215	325	280
間接資本費				
オーナー G & A	11.7	9.4		
建設管理	12.1	9.7		
建設	9.6	8.6		
スタート・アップ	2.3	2.0		
運転員訓練	2.54	2.54		
認可	2.12	1.6		
スペア・パーツ	1.21	1.21		
土地および権利	0.88	0.88		
	282.45	250.93	420.0	348.0
危険費	8.46	4.92	12.6	7.0
	290.91	255.85	432.6	355.0
利息	58.18	40.9	86.5	56.8
重水インベントリー	—	—	41.0	29.0
燃料インベントリー	36.0	36.0	7.15	5.9
総計	385.09	332.75	567.25	446.7

表一3 である。

表一3 より明らかなように、近い将来においては重水炉が軽水炉に比べて著しく発展するということは期待できない。小規模な発電所においては、大規模発電所にはないコストダウンの可能性がある。たとえば、各機器を一体化し、モノブロックとして建設することによって以下のような利点を得られる。

- ① 各機器の規格化簡略化および蒸気ドラム・パイプの節約
- ② 建物、土地の縮小
- ③ プレハブ化による工期の短縮
- ④ 輸送費の軽減

(5) むすび

工業化の進んだ国では依然として発電所の容量は増大する傾向にあるが、多くの開発途上国においては今後とも小規模発電所に対する需要は続くであろう。原子力発電所なら多くの電力源の不足している国において、この需要を満たすことができる。現在の技術では 300 MWe 以下の原子力発電所は石油燃料費の高い地域でなければ経済的にひきあわないが、これからの進歩・改良次第では、より燃料のコストの低い所でも競合できるようになる。電力源および熱源として、うまく原子力発電所を利用するならば、開発途上国だけでなく工業先進国においても 50~300 MWe の原子力発電所の有意性は増す。従来の発電所の原理が根本的に変わることはない限り、原子力発電所の経済的最適容量は 300 MWe 以下へと向かうに違いない。

(委員 田中 協一)

土木学会新潟震災調査委員会編

昭和 39年 新潟地震震害調査報告



- 第1編 総論
- 第2編 地震
- 第3編 土質・地質
- 第4編 道路
- 第5編 鉄道
- 第6編 地盤変動
- 第7編 道路橋
- 第8編 鉄道橋
- 第9編 河川
- 第10編 電力施設
- 第11編 衛生施設
- 第12編 農林土木
- 第13編 建築
- 第14編 港湾・漁港・空港
- 第15編 工場災害
- 第15編 通信施設

B5判・904ページ 上製箱入

頒価 10000円 送料 200円 会員特価 9000円

お申込みは土木学会または書店へ……書店経由の場合は会員であっても会員特価の取扱いはありません。