高速炉燃料集合体炉内湾曲の 熱流設計上の諸問題

(三菱原子力工業(株)) 菱田 久志

FBR 炉心熱流設計では、燃料集合体内サブチャンネル面積変動の要因として炉内温度分布、中性子束分布の傾斜に起因する燃料集合体集団湾曲、燃料集合体内冷却材周辺流れ効果に起因する燃料ビン束全長に及ぶ湾曲のほか、集合体各部の製作、組立公差によって発生する燃料ビン局所湾曲を考慮する必要がある。

本稿では、これら湾曲の特性と、熱流力的相関を考慮した湾曲解析手法について解説し、原型炉クラスの炉心温度の確率変動への湾曲の影響を計算例に基づいて示す。

I. 燃料集合体湾曲評価の必要性

高速炉の炉心熱流設計においては、炉心温度は燃料、構造材、冷却材等の諸特性に由来する限界値を超えてはならないという設計基準がある。したがって、炉心性能と安全性を満足する最適設計点を設定するうえに炉心ホットスポット温度の詳細な評価を行う必要がある。これに関連して燃料集合体に流入する冷却材流量と燃料集合体のサブチャンネル流量配分、サブチャンネル間冷却材混合効果等を考慮した冷却材温度上昇の算定が重要となる⁽¹⁾。

燃料集合体内では、ラッパ管に接する周辺部サブチャンネルと内側サブチャンネルの流路面積の相違に起因する周辺流れ効果によって、ラッパ管に隣接する周辺部燃料ビンの内側と外側に通常の設計で相当の温度差がついて燃料ビンの熱湾曲が発生し、内側ビンの湾曲にも影響を及ぼす⁽²⁾。さらに、燃焼の進行に従ってスエリング等の照射効果により燃料ビンは変形し、サブチャンネル面積が変化して燃料ビン温度に影響する。また、炉心全域における温度分布および中性子束の傾斜から、燃料集合体は通常頂部が炉心半径方向外向きに集団湾曲するので、湾曲による燃料集合体サブチャンネル流量配分への影響のほかに、炉心変形による反応度変化、残留変位による燃料集合体再装荷特性、スぺーサを介しての燃料ビン接触によって発生する応力等の評価検討が必要となる⁽³⁾。

燃料集合体の炉内湾曲は、前述の中性子束分布、温度分布と周辺流れ効果に起因して燃料集合体および燃料ビン全長に及ぶもののほかに、燃料ビン、スぺーサ、燃料支持構造物、ラッパ管等、炉心各部要素の製作組立公差と、燃料ビンのスエリングに起因する局所的なものと考えられる⁽⁴⁾。炉内中性子束分布および温度

分布の傾向が炉心寿命を通じて大きく変化することはないので、燃料集合体および燃料ビン全長に及ぶ湾曲は、炉心熱流特性、核特性、燃料ビン応力評価と燃料集合体取扱い上の諸問題に関連してあらかじめ設計計算の過程で検討が可能であるが、製作組立公差に起因して発生する燃料ビンの局所的湾曲は湾曲の発生する位置および湾曲の大きさがランダムであり、製作組立公差を含む各不確定因子の燃料ビン湾曲への感度を考慮した確率論的評価が同時になされねばならない⁽⁵⁾。

以上述べたように、FBR 熱流設計では炉心燃料集合体の集団湾曲、周辺流れ効果に起因する燃料ビン束全長に及ぶ湾曲等、熱流設計計算により系統的に評価し得るものと、炉心各部製作組立公差に起因して発生する局所的な燃料ビン湾曲があり、後者は確率論的評価が必要となるが、いずれもサブチャンネル流量配分の設計基準値よりの変動とホットスポット温度の上昇につながるため、炉心安全性の面から重要な評価項目である⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

II. 燃料集合体の集団湾曲

FBR は冷却材の温度上昇が軽水炉の場合に比べて大きく、したがってできるだけ個々の燃料集合体の発熱に応じた冷却を行う必要性から炉心内部に減圧機構を設け、燃料集合体の熱発生量に応じて冷却材流量を配分するよう流量領域の区分を行なっているのが特徴である。しかし、炉内の制御棒集合体および濃縮度別燃料装荷領域の影響による中性子束分布の傾斜と、限られた数の冷却材流量領域での流量調節の不連続性による炉心温度勾配によって燃料集合体は集団湾曲す

Effect of Subassembly Bowing on FBR Core Thermal and Hydraulic Design, Hisashi HISHIDA.
(1978年 12月25日 受理)

る。

燃料集合体は、第1図に示すように、燃料ピン束部とノズル部より構成され、炉内ではノズル部が炉心支持板の連結管に挿入されて保持されている。ノズル部と連結管の間に僅かなクリアランスがあり、したがってラッパ管の集団湾曲モードおよび湾曲によって発生する応力の評価にはクリアランスの影響を考慮する必要がある。燃料集合体を構成するピン束は、一般にラッパ管に比べて剛性が非常に小さく、燃料集合体の湾曲はラッパ管の湾曲として取り扱うのが便利である。原子炉運転中の燃料集合体集団湾曲による炉心変位を防ぐため、炉心拘束機構によって燃料集合体はバット部に炉心中央に押されており、バット部の応力評価にも湾曲解析は密接に関係するが、そのほか燃料交換時残留変位の影響、湾曲による集合体内周辺サブチャンネル流量変動に起因するラッパ管の温度上昇と照射損傷による強度低下との関連においても重要な問題である。

第1図 FBR 燃料集合体の1例

1. 解析モデル

炉内でのラッパ管集団湾曲の解析は、通常おののラッパ管を断面形状が変化しないビームとして取り扱い、ビームに作用する曲げモーメントと炉心拘束機構によって決定される外部境界条件のもとに、隣接するラッパ管のすべての相互接触点において力学的釣合いを満足する反力を求めることで湾曲モードを決定する。さらに必要に応じ、個々のラッパ管の局所的な応力計算はビームモデルによって求めた湾曲モードに基づいて有限要素法により解析する。ここで、ラッパ管に作用する曲げモーメントは管壁の熱膨脹、スエリングおよびクリープ等の非等方性に起因するものとする。

ラッパ管(i, j)中心軸の高さ z の位置における x 方向および y 方向の変位 $u_{i,j}(z), v_{i,j}(z)$ は z の位置でラッパ管に作用する y 軸および x 軸まわりの回転モーメント $M_{i,j}^y(z)$ および $M_{i,j}^x(z)$ を用いて次式で表わされる。

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} u_{i,j}(z) = -\frac{M_{i,j}^y(z)}{E_{i,j}(z)I_{i,j}(z)}, \quad (1a)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial z^2} v_{i,j}(z) = -\frac{M_{i,j}^x(z)}{E_{i,j}(z)I_{i,j}(z)} \quad (1b)$$

ここで、 $E_{i,j}(z), I_{i,j}(z)$: ラッパ管(i, j)のヤング率と断面2次モーメント

曲げモーメント $M_{i,j}(z)$ は通常

$$M_{i,j}(z) = M_{i,j}^r(z) + M_{i,j}^s(z) + M_{i,j}^g(z) + M_{i,j}^c(z) \quad (2)$$

で表わされ、 $M_{i,j}^r(z), M_{i,j}^s(z), M_{i,j}^g(z)$ および $M_{i,j}^c(z)$ はそれぞれ z の位置におけるラッパ管断面温度分布の非等方性、ラッパ管の相互接触による反力、スエリングおよびクリープの非等方性に起因する曲げモーメントである。 $M_{i,j}^r(z), M_{i,j}^s(z)$ および $M_{i,j}^g(z)$ はラッパ管断面の高さ z における温度分布、中性子束分布から容易に求めることができる。また、 $M_{i,j}^c(z)$ はラッパ管の相互接触点の位置 z と、 z における反力が決まれば求められる量であることに留意されたい。(1a)式および(1b)式の $u_{i,j}(z), v_{i,j}(z)$ を便宜上次のように表示する。

$$u_{i,j}(z) = u_{i,j}^0(0) + x_{i,j}(z) \quad (3a)$$

$$v_{i,j}(z) = v_{i,j}^0(0) + y_{i,j}(z) \quad (3b)$$

ここで、 $\{u_{i,j}^0(0), v_{i,j}^0(0)\}$: ラッパ管(i, j)中心軸の $z=0$ における設計位置
 $x_{i,j}(z)$ および $y_{i,j}(z)$: $\{u_{i,j}^0(0), v_{i,j}^0(0)\}$ を基準としたラッパ管(i, j)中心軸の x 方向および y 方向の変位

次に、ラッパ管支持部の境界条件と、隣接ラッパ管相互の接触条件について述べる。 $z=0$ の位置におけるラッパ管ノズル部と炉心支持板の連結管半径の差を $\theta(0)$ とし、ラッパ管は $z=z_1$ でピボットであるとする境界条件を考えると

$$x_{i,j}(z_1) = y_{i,j}(z_1) = 0 \quad (4a)$$

$$x_{i,j}^2(0) + y_{i,j}^2(0) \leq \theta^2(0) \quad (4b)$$

でなければならない。また、ラッパ管(i, j)が $z = \bar{z}_p(i, j, k=1)$ なる位置で、第2図に示す管壁 $k=1$ で隣接管($i+1, j$)と接触しているものとする、幾何学的な位置の関係から

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{3}}[u_{i,j}^0(0) + x_{i,j}\{\bar{z}_p(i, j, 1)\}] \\ & + \frac{2}{\sqrt{3}}l_{i,j}\{\bar{z}_p(i, j, 1)\} + v_{i,j}^0(0) + y_{i,j}\{\bar{z}_p(i, j, 1)\} \\ & = \frac{1}{\sqrt{3}}[u_{i+1,j}^0(0) + x_{i+1,j}\{\bar{z}_p(i, j, 1)\}] \\ & - \frac{2}{\sqrt{3}}l_{i+1,j}\{\bar{z}_p(i, j, 1)\} + v_{i+1,j}^0(0) \\ & + y_{i+1,j}\{\bar{z}_p(i, j, 1)\} \end{aligned} \quad (5a)$$

ここで、 $2l_{i,j}\{\bar{z}_p(i, j, k)\}$: $\bar{z}_p(i, j, k)$ におけるラッ

記号 1 および 2 は燃料集合体および制御棒集合体を示す。

第 2 図 原型炉クラス FBR 炉心 60° セクター

バー管外壁対面間距離

p : ラッパ管 (i, j) の管壁 k の面での
接触点番号

なる式が成立しなければならない。

$k=2$ および $k=3$ の管壁に関しては、

$k=2$ については

$$\begin{aligned} u_{i,j}^0(0) + l_{i,j} \{ \bar{z}_p(i, j, 2) \} + x_{i,j} \{ \bar{z}_p(i, j, 2) \} \\ = u_{i,j+1}^0(0) - l_{i,j+1} \{ \bar{z}_p(i, j, 2) \} + x_{i,j+1} \{ \bar{z}_p(i, j, 2) \}, \end{aligned} \quad (5b)$$

$k=3$ については

$$\begin{aligned} \frac{1}{\sqrt{3}} [u_{i,j}^0(0) + x_{i,j} \{ \bar{z}_p(i, j, 3) \} \\ + \frac{2}{\sqrt{3}} l_{i,j} \{ \bar{z}_p(i, j, 3) \} - v_{i,j}^0(0) - y_{i,j} \{ \bar{z}_p(i, j, 3) \} \\ = \frac{1}{\sqrt{3}} [u_{i-1,j+1}^0(0) + x_{i-1,j+1} \{ \bar{z}_p(i, j, 3) \} \\ - \frac{2}{\sqrt{3}} l_{i-1,j+1} \{ \bar{z}_p(i, j, 3) \} - v_{i-1,j+1}^0(0) \\ - y_{i-1,j+1} \{ \bar{z}_p(i, j, 3) \} \end{aligned} \quad (5c)$$

となる。炉心最外周の拘束条件も同様に考慮されなければならない。

ラッパ管の接触点を決定する手法については次の項で述べるが、すべてのラッパ管について接触点が求まったとするとおのおのの接触点について(5a), (5b) および(5c)のいずれかの式が成立する。ここで、境界条件(4a)および(4b)式を満足する $x_{i,j}(z)$ および $y_{i,j}(z)$ はラッパ管の接触点 (i, j, k, p) において作用する未知の相互反力 $R(i, j, k, p)$ と、炉内温度分布および中性子束分布によって計算可能な $M_{i,j}^T(z)$, $M_{i,j}^S(z)$ および $M_{i,j}^C(z)$ により(1a)および(1b)式の解を用いて一般的に表わすことができる。最外周の拘束されたラッパ管についてもまったく同様のことがいえる。

る。相互反力 $R(i, j, k, p)$ の数は接触点の数に等しいので、すべての接触点に対応する(5)式または最外周の拘束条件の式を連立に解くことによってすべての $R(i, j, k, p)$ が求まり、湾曲モードが決定される¹⁰⁾。

2. ラッパ管接触点決定の手順

ラッパ管相互接触点の決定は次の手順で行うことが可能である。

- (1) 炉内温度分布、中性子束分布より $M_{i,j}^T(z)$, $M_{i,j}^S(z)$ および $M_{i,j}^C(z)$ をすべてのラッパ管 (i, j) について計算する。
- (2) 相互接触を考えず、すべてのラッパ管が自由に湾曲するものとして湾曲モードを計算する。
- (3) 自由湾曲モードに基づいて、隣接ラッパ管の接触の可能性をサーチし、接触点を仮定する。
- (4) 仮定した接触点のすべてについて、(5)式および炉心最外周の拘束条件式を連立に解いて $R(i, j, k, p)$ を求め、仮定した接触点の妥当性を $R(i, j, k, p)$ の正負より判定して接触点の調整を行う。
- (5) 新しく仮定した接触点 $R(i, j, k, p)$ よりラッパ管の湾曲モードを計算し、ラッパ管の相互位置関係から接触点がすべて網羅されたかを確認する。
- (6) 最終的な接触点についての相互反力と集団湾曲モードを計算する。

3. ラッパ管集団湾曲の計算例

ラッパ管集団湾曲の計算例を次に示す。第 1 図に示したラッパ管の諸元は原型炉クラスで全長 4,200 mm, $z_1=510$ mm, $z_2=2,665$ mm, $\bar{z}_1=4,022$ mm, 外対面間距離=110.6 mm, $\bar{z}_1$ および $\bar{z}_2$ の位置におけるスペーサ高さは、それぞれ 2.15 および 2.0 mm であり、隣接するラッパ管間のクリアランスは $\bar{z}_1$ のスペーサ位置において 0.7 mm である。計算例で用いた炉内温度分布は初期炉心の定格運転状態に対応するものである。第 3 図に計算結果を示す。

第 3 図 定格運転時における燃料集合体湾曲モード

ラッパ管(12, 1)および(9, 3)の頂部が炉心中心方向に湾曲しているのは制御棒集合体の影響である。本計算例によると、スぺーサ位置 z_1 および z_2 以外でのラッパ管相互接触は見られず、スぺーサ設計は満足すべきものといえる。接触位置での相互反力は15~96 kg の範囲にあり、ラッパ管支持部におけるクリアランス0.1 mm を考慮しない場合は約2 kg 過大評価される。

Ⅲ. 燃料ピン束の湾曲

燃料ピン束はラッパ管の湾曲によるほか、周辺流れ効果および燃料集合体内の中性子束分布に起因する燃料ピン周囲の冷却材温度差、照射スエリング、クリープの異方性によっても湾曲するが、ラッパ管集団湾曲の取扱いと異なる点は、燃料ピン束の湾曲モードが冷却材の流動圧によっても影響を受けることである。燃料ピン束の湾曲は、燃料集合体内のサブチャンネル面積、冷却材混合効果等の変動の原因となるので炉心ホットスポット温度評価に重要である。

1. 解析モデル

燃料ピン束の湾曲解析モデルは、基本的にラッパ管集団湾曲の場合と同じであるが、(2)式に対応する i 番目の燃料ピンの z なる位置における曲げモーメント $M_i(z)$ の計算に冷却材流動圧による項 $M_i^H(z)$ が加わる。単位長さ当りの燃料ピンが z の位置で冷却材より受ける力 $F_i(z)$ は

$$F_i(z) = C d_i r_i(z) (\rho_i(z)/g) v_i^2(z) \sin^2 \theta_i(z) \quad (6)$$

で表わされる⁽⁶⁾。ここで、 $r_i(z)$ 、 $\rho_i(z)$ 、 $v_i(z)$ および $\theta_i(z)$ はそれぞれ燃料ピン i の z の位置における半径、 z の位置における燃料ピン i の周囲の冷却材密度、流速および燃料ピン i が z の位置で冷却材の主流方向となす角である。 $C d_i$ は燃料ピン i のドラッグ係数が第4図に種々のワイヤ型燃料ピンについて示す。

ワイヤ型燃料集合体は燃料ピンが下端で固定され、上端で自由である。 i 番目と j 番目の燃料ピンがワイヤ・スぺーサを介して接触する場合、 i 番目と j 番目の燃料ピンの下から l 番目の接触点の位置を $z_{i,j,l}$ とすると次の燃料ピン接触式が導かれる⁽⁶⁾。

$$\begin{aligned} & \{u_i(z_0) - u_j(z_0)\} \{x_i(z_{i,j,l}) - x_j(z_{i,j,l})\} \\ & + \{v_i(z_0) - v_j(z_0)\} \{y_i(z_{i,j,l}) - y_j(z_{i,j,l})\} \\ & = q(z_0) [q(z_{i,j,l}) \cos \{\lambda_i(z_{i,j,l}) - \lambda_i(z_0)\} - q(z_0)] \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、 $q(z)$: z の位置における燃料ピン i および j の中心間距離

$\{u_i(z), v_i(z)\}, \{x_i(z), y_i(z)\}$: それぞれ z の位置における燃料ピン i の中心軸の (x, y) 座標とその設計位置よりの変位を表わす

z_0 : 燃料ピン下部支持点の z 座標

記号1: ワイヤなし, 2: ワイヤ径1.3 mm, 巻きピッチ306 mm, 3: ワイヤ2重巻き(ワイヤ径, 巻きピッチは2と同じ), 4: ワイヤ径1.3 mm, 巻きピッチ200 mm, 5: ワイヤ2重巻き(ワイヤ径, 巻きピッチは4と同じ)

第4図 ワイヤ型燃料ピンのドラッグ係数

第5図より明らかなように、(7)式の右辺に含まれる $q(z_{i,j,l})$ および $\lambda_i(z_{i,j,l})$ は $\beta_i(z_{i,j,l})$ と $\beta_j(z_{i,j,l})$ が与えられれば決まる値であり、 $\beta_i(z_{i,j,l}), \beta_j(z_{i,j,l})$ はワイヤ・スぺーサの巻きピッチと燃料ピン接触点サーチから決定されるので、(7)式は燃料ピンの変位について1次式となる。

相互反力 R は燃料ピン i, j 間に介入するワイヤ・スぺーサがピン i のものであれば実線、 j のものであれば点線

第5図 燃料ピン接触時の位置関係

ラッパ管集団湾曲の場合と同様、燃料ピン変位も接触点が決まると相互反力の1次式で表わされるので、燃料集合体内のすべての燃料ピン接触点をサーチして相互反力を未知数とする連立方程式を解くと、燃料ピン束の湾曲モードが求まる。周辺燃料ピンのラッパ管壁との接触に関する式も(7)式と同様に導くことができる⁽⁴⁾。前述のように、特に燃料ピン湾曲はサブチャンネル冷却材流量と密接な関係があり、得られた燃料ピン束の湾曲モードによってサブチャンネル熱流解析を行うことで燃料集合体内温度分布を修正し、湾曲解析を反復する。反復計算は通常数回で収束する。

2. 燃料ピン束湾曲の計算例

第6図に、169ピンより構成される燃料集合体の中心燃料ピンを含む断面の燃料ピン湾曲モードを示す。実線および点線は燃焼初期と500日照射後の炉心に対応している。原型炉クラスの炉心を対象として行なった主な解析結果は次のとおりである。

- (1) 湾曲燃料ピンに対する冷却材の流動圧を考慮すると、ホットスポット・サブファクタは約0.4%低下する。
- (2) 燃料ピン間の接触点は、燃焼初期において炉心出口部付近に現れるが、燃焼の進行に伴って炉心中心部にも現れ、燃料ピン湾曲モードは大きく変化する。
- (3) 被覆材ホットスポットの現れる炉心部と上部ブランケット境界において、サブチャンネル流路面積の非湾曲時のそれに対する変化は内部サブチャンネルで-10~+2%、周辺サブチャンネルで+13~+50%である。
- (4) 燃料ピン湾曲に起因する温度上昇に対するホッ

実線は初期炉心、点線は500日照射後の炉心に対応する。

第6図 169ピン燃料集合体の中心ピンを含む断面での燃料ピン湾曲モード

トスポット・サブファクタは燃料集合体内発熱勾配によって異なり、燃焼初期において1.023~1.035、さらに500日照射後には1.045となる。

- (5) 燃料ピンに作用する反力の最大値は、燃料ピン上端のラッパ管との接触点において発生し、燃焼初期において0.52 kg、500日照射後には2.5倍に増加する。

IV. 不確定因子の流路面積への影響

燃料集合体各部の製作、組立公差に起因して燃料ピンの局所湾曲、サブチャンネル流路変形が生ずると、サブチャンネル流量、局所ヌセルト数等の変化を通じてホットスポット温度は影響を受けるので、燃料ピン間隙の確率変動評価は熱流設計において重要である⁽⁹⁾。一般に、燃料ピン間隙は不確定因子の幾何学的および力学的相互相関によって決定されるので、個々の不確定因子が設計基準値を中心に正規分布をしている場合でも、燃料ピン間隙が正規分布を示すとは限らない⁽⁹⁾⁽¹¹⁾。燃料集合体に含まれる不確定因子の数は多く、これらすべての確率分布の組合せを考慮した燃料ピン間隙の確率変動を評価するのは困難であり、したがってあらかじめピン間隙に対する感度の大きな不確定因子を選択しておく必要がある。不確定因子の変動は、サブチャンネル流量配分値と冷却材温度の変動を通して燃料ピン湾曲に影響を与えるので、これらの影響を考慮したピン間隙に対する感度評価を行う必要があることはいうまでもない。評価には、前章で述べた燃料ピン束湾曲解析手法が用いられる。

次に、原型炉クラス燃料集合体各部の製作、組立公差に基づき、燃料ピン間隙に対し0.1%以上の影響を与える不確定因子を列挙する。

- ① 燃料ピン初期曲り： -1.38~+1.21%
- ② スペーサ・ワイヤ外径： -0.49~+0.42%
- ③ ワイヤ巻きピッチ： -0.40~0.20%
- ④ ピン支持管取付角度： -0.30~0.05%
- ⑤ ピン下部端栓溶接角度： -0.14~0.05%

これら不確定因子は、上記例に示すように、燃料ピン間隙に対し非線形な関係にあり、かつピン間隙を狭くする方への影響度が大きい。したがって、不確定因子変動の炉心温度に対する影響は線形であるとする従来の仮定と矛盾する。

不確定因子の確率分布と第Ⅲ章で述べた燃料ピン束湾曲解析手法とを組み合わせ、ホットスポットとなる炉心と上部ブランケット境界における燃料ピン間隙確率分布を求めた結果を第7図に示す。信頼度レベルを

従来の 3σ 相当99.87%とすると、ホットスポットにおける燃料ピン間隙の設計基準値からの変動は8.05%以下である。燃料ピン間隙の確率分布は第7図より明らかなように、ラッパ管による拘束系での燃料ピン間の力学的相互作用の結果、ピン間隙を狭くする方へ偏った分布となる。すなわち、各種因子の設計基準値を用いて計算された燃料ピン間隙 $\bar{g}_m(z^*)$ は、燃料ピン湾曲を考慮しない設計基準値 $\bar{g}_m$ より6.09%小さく、かつ燃料ピン間隙 $g_m(z^*)$ の期待値は $\bar{g}_m(z^*)$ よりもさらに0.31%小さいことに留意されたい。

第7図 原型炉クラスFBR燃料集合体のピン間隙確率分布

V. ま と め

本稿では、FBR燃料集合体の炉内湾曲評価が炉心熱流設計の重要な作業項目の一つであることを述

べ、湾曲評価の基本的手法について解説した。また、ラッパ管によって拘束される系においては、不確定因子間の相互相関によって燃料ピン間隙の確率分布は正規分布とはならず、ホットスポット温度の確率変動評価に際し留意する必要があることを指摘した。本稿では除外したが、燃料集合体の湾曲評価と同様、ワイヤ・スプーサによる冷却材混合効果の評価が炉心熱流設計に特に重要であることを付記しておく。1979年2月、西ドイツのカーlsruheにおいてIAEA主催の「FBR燃料集合体湾曲流路熱流に関する専門家会議」が開催される運びとなり、各国の成果が期待されている。

— 参 考 文 献 —

- (1) 菱田久志: 原子力誌, 20(4), 229 (1978).
- (2) SAKAI, K., HISHIDA, H.: *Nucl. Eng. Design*, 44, 235 (1977).
- (3) CARELLI, M.D., BACH, C.W.: *Trans. Amer. Nucl. Soc.*, 21, 393 (1975).
- (4) SAKAI, K., et al.: *Nucl. Eng. Design*, 48, 595 (1978).
- (5) SAKAI, K., et al.: *ibid.*, 48, 505 (1978).
- (6) CHELEMER, H., TONG, L.S.: *Nucleonics*, 20(9), 68 (1962).
- (7) HISHIDA, H.: *Nucl. Eng. Design*, 26, 408 (1974).
- (8) HISHIDA, H., et al.: To be published in *Nucl. Eng. Design*; also in IAEA Specialist Meeting, (1979).
- (9) TAYLOR, G.: *Proc. Roy. Soc.*, A214, 158 (1952).
- (10) DWYER, O.E., BERRY, H.C.: *Nucl. Sci. Eng.*, 23, 295 (1972).
- (11) HISHIDA, H., HIGASHI, M.: *Nucl. Eng. Design*, 35, 191 (1975).

○創立20周年記念式典「祝辞」①

文部大臣 内 藤 蒼三郎 殿

本日ここに社団法人日本原子力学会創立20周年記念式典が挙行されるに当たりひとこと御祝いのことを申し述べます。

貴学会は、学術及び技術の最先端の分野の学会として昭和34年に創設され以来時代の要請に即応しつつ今日まで、原子力の平和利用に関する学術及び技術の進歩に寄与されるとともに会員相互の連絡提携を図られ、その学会活動の成果は内外各界から高く評価されていると聞き及んでおり、誠に力強く感ずるところであります。

この度創立20周年を迎えられ盛大な記念式典が挙行されますことは、ひとえに歴代会長はじめ会員諸氏のたゆみない研鑽と協力の賜物であり、ここに深甚なる敬意を表する次第であります。

今日我が国は科学技術の飛躍的な発達を基盤として高度工業化社会の一員に成長するに至り、著しい産業の発展と国民生活の向上とは、世界各国の注目するところとなりましたが、反面資源の節約再利用及び公害問題など、幾多の解決すべき課題が山積されております。とりわけ資源の豊かでない我が国においては、エネルギー確保のために努力を傾注し我が国の将来にとって誤りなきを期することは当面の最大の課題であります。

このような背景のもとにエネルギー問題対策の担い手として今日、原子力発電の開発の促進など原子力に対する依存度と期待が高まっていることは申すまでもありません。

原子力に関する研究開発においても従来のいわゆる分裂炉のみならず、近年核融合を旨とする研究等についても活発に行われるなど総合的な学術の発展技術の振興が強く望まれているところであり

ます。

また、今後原子力の利用が増加するにつれ放射性廃棄物等の安全管理の面の問題等新しい問題も生じてくることと存じます。こうした中で真の原子力の平和利用の面から貴学会の果たす役割はますます増大するものと思われます。

このときに際し、貴学会が過去20年を振り返り新たな展望のもとに今後一層の発展を期されることは誠に意義深いことと考えます。

本日のこの式典に当たり学会創立以来の輝かしい業績をたたえ今日の発展を衷心よりお祝い申し上げますとともに、貴学会が我が国及び世界の原子力の平和利用に関する学術研究の発展と技術の振興に今後一段と寄与されるよう希望してお祝いのことばといたします。

(代読 柴田俊一科学官)