溶融ニ酸化ウランの振動充てん法に関する研究

Vibratory Compaction of Fused UO₂

広	瀬	保	男*	武	田	清	治*
Yasuo Hirose					Seiji 7	akeda	

內 容 梗 概

振動充てん法は簡便な二酸化ウラン燃料棒製造法として,またプルトニウムなどのRecycle燃料棒の遠隔操 作に適した製造法として注目を浴びており,内外の諸所で研究が行なわれている。本研究においては,高密度 の振動充てん二酸化ウラン燃料棒を製造するための基礎的な充てん用粉末の粒度調整条件,および振動数,振 動の強さ,振動波形などの振動条件が充てん密度に及ぼす影響を検討した。検討結果に基づいて長さ2mまで の高密度振動充てん燃料棒を試作し,その一部に各種の検査,試験を施して健全性を確認した。

1. 緒

現在までに検討されている原子力発電コストのうちでは,燃料サ イクルコスト,特に燃料の成形加工費が相当の割合を占めており, これを低減することは安価なエネルギーを開放して原子力の平和利 用を推進するために欠くことのできない問題である。

言

従来,動力炉燃料として用いられてきた二酸化ウラン焼結ペレットの製造とその被覆技術は多くの経験と改良を経て,現在ではほと

振動充てん法とは、繰返し衝撃または振動を加えることにより、 容器中に粒子を高密度に充てんする方法であるが⁽⁶⁾、最初に系統的 な研究を行なった W.C.Bell氏⁽⁷⁾によれば、振動充てんにおける基本 的な作用は粒子表面の摩擦によって拘束を受けている粒子集合体に 対するかきまぜ作用であり、このかきまぜ作用によって粒子の架橋 構造を破壊して隣接粒子が最密充てん配置をとる傾向を与えること である。衝撃や振動を加える手段としては上述の W.C.Bell 氏のよ うに空気振動機 (Pneumatic Vibrater) を用いるものと⁽⁸⁾、動電形振

んど完成された技術となっている。しかし、ペレット製造法は粉末 治金的ないしは窯業的方法により、多くの複雑な工程を要する点に かんがみ、ペレット製造法にかわって、核燃料の高密度化と被覆を 同時に行なうことにより、工程を簡略にし加工コストを低減するこ とを目的とした諸方法の開発に努力が払われてきた^{(1)~(3)}。これら の新しい二酸化ウラン燃料製造法のうちで振動充てん法は

- (1) 操作が単純で遠隔操作も可能であり,加工中の燃料物質の 損失が少ない。
- (2) 被覆材に加工が加わらず構造的な障害の起こる危険がない。
- (3) 形状が複雑になっても加工は困難でない。

などの点ですぐれているのみならずプルトニウム燃料などの Recycle 燃料の加工法としても適しているため, ここ数年来諸所で研究 が進められている。一般に不均質形原子炉の燃料は加工コストを別 とすれば,密度が高いほど経済的である。二酸化ウラン燃料ペレッ トの密度が普通 95% T. D. (理論密度比) (ペレットと被覆の間げき を考慮に入れた実効密度は 93~94% T. D.) であるのに対して実用 的な振動充てん法によって得られる密度は 90% T. D. が限界と考え られているので,低密度であることが燃料の性能に及ぼす影響を検 討するとともに,燃料密度の限界を高めることが振動充てん燃料を 実用化しようとする研究の主要な課題となっている。

振動充てん法に用いる原料二酸化ウランとしては,なるべく高密 度でしかも適当な大きさを有したものでなければならないので,通 常アーク溶融などによって99% T.D.程度に高密度化した塊状物を 適当に粉砕して使用している。

規則的な形状を有した粒子については充てん密度を最大にするための粒度分布について種々の研究⁽⁴⁾⁽⁵⁾があり,一般に理論的な考察

動機 (Electrodynamic Vibrater) を用いるものがある⁽⁹⁾。前者にお いては,数十サイクル程度の低振動数で,非常に大きい加速度を有 する衝撃を用いており,後者においては,数千サイクルまでの範囲 で振動数を適当に選択し,変動させることにより,比較的小さい加 速度によって高い密度を得ようとするものであって,GEのHanford 研究所では燃料棒被覆管のいくつかの共振点を含む振動数範囲で加 振振動数を掃引することにより,最初に高密度振動充てん法を開発 している⁽¹⁰⁾。

日立研究所においては昭和37年度原子力平和利用研究費補助金 の交付を受けて溶融二酸化ウランの振動充てん法に関する研究を行 ない,高密度に充てんするための粒度分布,振動波形(正弦波,三 角波,鋸歯状波,方形波,パルス波など),振動数,振動の強さな どの振動条件の充てん性に及ぼす影響を検討して充てん密度が90% 以上となるような振動条件を見いだし,さらに振動充てん燃料棒を 試作してその健全性を確かめ,原料粉末の調製から燃料棒の検査に わたる一貫した振動充てん燃料製造技術を開発した。その後,昭和 38年度原子力平和利用研究費補助金事業の一環として,二酸化ウラ ン振動充てん燃料棒の照射試験研究を実施することになり,すでに 試料燃料棒の製作を終わり,各種照射前試験もほとんど終了して, 近く海外の材料試験炉で照射を行なう予定である。

本報告において,振動の加速度は特に明示しない限り重力の加速 度 (980 cm/s²)を単位とし g の記号で示している。

2. 実 験 方 法

2.1 充てん用二酸化ウラン

本研究においては,振動充てん用の原料として溶融二酸化ウラン の粉砕粉末を用いることにした。これは,溶融二酸化ウランが価

結果と実験結果がよく一致するが,形状が不規則でもろいために, 充てん中に形状や粒度分布が変化する溶融二酸化ウランの場合に は,多くの研究者が独自の最適粒度分布を提唱しているが,追試を 行なっても同一結果が得られないのが普通であり、特定の燃料形 状,二酸化ウラン性状,振動条件において特定の最適粒度分布が存 在することがわかる。

格,市場性,密度,粒度および純度などの点で他の充てん用二酸化 ウランよりすぐれており,アメリカにおいては振動充てんあるいは スエージ用の原料としてすでに相当の実績があり,低濃縮二酸化ウ ランが製造された実績もあって,本研究の結果を直ちに動力炉用燃 料の製造に適用しうる可能性があると考えたからである。 使用した溶融二酸化ウランの諸性状を第1表に,粗塊の外観写真 を第1図に示す。

* 日立製作所日立研究所

購 入	、先	Kerr McGee Oil Industries Inc.	В	< 0.1
物質	名	Fused UO ₂ , 天然ウラン	C	$<\!30$
粒	度(mesh)	-3+20	Cd	<1
密	度 (g/cm ³)	10.86	Cr	5
ウラン	含有率(w/o)	88.1	Fe	80
O/U	比	2,000	Mn	<3
不純物含量 (ppm)			Ni	10
	A1	50	Si	80

第1表 溶融二酸化ウランの諸性状



第1図 溶融二酸化ウラン原料粗塊

充てん密度の測定誤差はこれらの値の測定精度によって定まり, 本研究においては ±0.3% 以下と推定され,また,粉末,粉末装て ん,加振操作の差に由来すると考えられる密度測定値の総合変動値 は ±0.5% 以下であった。

充てん用粉末の充てん性を簡単に比較するためにはタップ密度の 測定を行なった。試料 100 g を 20 cc のガラス製メスシリンダに入 れて, Syntron 形 Vibrator Packer にのせて振動し飽和容積値から タップ密度を求めた。

燃料棒の加振挙動の測定には、燃料棒の下端に加速度ピックアップを取り付け、その出力電圧を Cathod Follower を介して真空管 電圧計により測定し、加振加速度と燃料棒における検出加速度を比較した。測定装置の回路構成を第2図に示す。

実験結果と検討

3.1 充てん性に及ぼす粒度分布の影響

単一粒度粒子の容器に対する充てん性は,主として容器の大きさ と粒径の関係および粒子の形状によって支配される。タップ密度は 第3図に示すとおり,粒径が約1mmの場合に最も高くなってい る。充てん理論から予想されるとおり,大きい粒子では器壁の影響 によって充てん間げきの小さな粒子配列がとれず,また非常に小さ い粒子では粒子表面の摩擦が大きくなって空げきが増大するためで あろう。

2.2 実験操作

溶融二酸化ウラン粗塊を粉砕して,種々の大きさの粒子を作り, 種々の粒度分布に配合して充てん用二酸化ウラン粉末を調製した。

充てん用二酸化ウラン粉末は電磁粉末輸送装置を用いて,粒子の 形状,大きさによる分離を防ぎ,かさ密度を一様にしながら燃料棒 被覆管にそう入する。そう入した粉末の上に押え棒をのせて,二酸 化ウラン充てん層の加振中の高さ変化を測定するためのゲージとし た。加振には動電形振動機を使用し,加振機の可動板上に燃料棒を 取り付け,燃料棒の軸に沿った縦振動を加えた。

充てん密度は(1)式に従って求めた。



二粒度成分以上の粒度分布(二種類の粒度の粒子による粒度分布) になると粗粒子と細粒子との粒径比,混合割合などが充てん性を支 配する要因になってくる。同じ粗粒子に種々の粒径の細粒子を種々 の割合で混合したときのタップ密度の値を第4図に示す。タップ密



第2図 振動充てん装置の構成

第4図 二粒度成分粒度分布におけるタップ密度



溶融二酸化ウランの振動充てん法に関する研究



第5図 二粒度成分系における粒径比とタップ密度の関係



m	粒 度 分 布 (wt.%)						タップ <u> </u> 充て、 家庶 家庶	充てん 密度	
^e s _h	-4 + 10	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $	-100 + 200	$ ^{-200}_{+325}$	-325	%T.D.	%T.D.		
一粒度成分	-	100	-		-	—		61	-
二粒度成分	75	-				25		73	
三粒度成分	55		25				20	81	88
四粒度成分	55	-	20			10	15	82	91
連 続	50	13	4	4	5	8	16	81	89
			e 11						





第6図 三粒度成分系粒度分布における振動充てん密度

度は細粒子の混合割合が 30 w/o 程度のときに最も高く,細粒子の 粒径が小さいほど高い。タップ密度が極大を示す混合割合におい て,タップ密度と粒径比の関係を第5図に示す。タップ密度は細粒 子が十分小さければ 73% になるが, (細粒子径/大粒子径)の比が 0.1 より大きいと著しく低下する。

単一粒度および二粒度成分粒度分布の場合には振動充てんを行な えば粒子の粉砕のため粒度分布が変化するので,特にタップ密度を 測定して充てん性を比較した。

三粒度成分以上の多粒度成分粒度分布については,振動充てん密度を測定した。各種の粗粒子,中粒子,微粒子の組み合わせによる 三粒度成分粒度分布の場合における等振動充てん密度曲線は第6図 に示すとおりである。振動充てんは雑音波振動で20分間行なった 場合の結果である。

到達充てん密度に対しては粗粒子粒径の影響が著しく, -6+8

第7図 高密度振動充てん前後における粒度分布の変化

率を高めるために,粒径範囲が隣接して連続している,さらに多粒 度成分の粒度分布について検討した。これらのうちで好結果を示し た粒度分布と,本研究において得られた最高充てん密度を少ない粒 度成分の場合と比較して**第2表**に示す。

球あるいは簡単な形状の粒子における充てん理論,あるいは,一 般の粒子についての充てん性の検討結果から,充てん性を高める因 子として最大粒子と最小粒子の粒径比が大きいことが必要であり, しかも,粒径比がある程度大きくないと,粒度成分を増した場合に かえって充てん性が低下することが知られている⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽¹¹⁾。

最大粒子と最小粒子の粒径比を大きくするために,最小粒子径を 小さくし,数µの微粒子を混合する試みもあるが⁽¹²⁾,あまり微小 な粒子を用いれば粉末の比表面積が増加して核燃料として不都合と なる。一方,被覆管内径に対しては最大粒子径を大きくすることに 限度があり,限度を越えると密度の低下やバラッキの原因となる。

また、溶融二酸化ウランの振動充てんに際しては、たとえば第7 図に示すような粒子粉砕がおこり、振動後の充てん層における粒度 分布は当初の配合粒度分布と異なっており、これが二酸化ウランの 振動充てん性がモデル物質の振動充てん性と相違する大きな原因で あると考えられる。したがって、二酸化ウランの振動充てんにおい ては加振に伴う粉砕を起こした状態で充てん性が良好となるよう に、燃料棒の形状と振動条件によって定まる粉砕の程度に対して配 慮しながら最適粒度分布を実験的に求めておく必要がある。 3.2 正弦波による振動充てん 長さ 500 mm の燃料棒について、一定の振動数と加速度を有する 正弦波振動を 20 分間加えて振動充てんを行なった結果を 第8 図 に 示す。各レベルの加速度について、1,100~1,500 c/s の振動数範囲 で充てん密度が最高となる。充てん密度は加速度が大きくなるほど

mesh を用いれば最高密度は 87%, 他の粗粒子では 86% に止まっ た。等密度曲線の配置については,はっきりした傾向を認めること はできないが,最高密度を示す点は粗粒子 50~60 w/o,中粒子 20~ 30 w/o, 微粒子 20~30 w/o の範囲で区切られる三角形内にはいっ ていることがわかる。 三粒度成分までの粒度分布では得られなかったような高い充てん 密度をうるために四粒度成分の粒度分布を検討し,また原料の利用

日立製作所日立研究所創立三十周年記念論文集







第9図 正弦波による振動充てん密度の経時変化(その1)

高くなり、充てん密度が最高となる振動数は、加速度が大きくなる につれて 1,100 c/s から 1,500 c/s まで高くなる傾向がある。振動数 が 2,500 c/s 付近で充てん密度が第二の極大を示し、ここでは充て ん密度に対する加速度の影響が実際上見いだされない。この充てん 密度が極大となる振動数は後述する被覆管の共振点に一致してい る。

40,70,100gの各加速度レベルにおいて,加振時間内における充 てん密度の経時変化を第9,10,11図にそれぞれ示した。各加速度レ ベルにおいては,振動数が低いほど加振の初期における充てんは著 しいが,以後の加振による充てんは振動数が低くなると一たん早く なり,さらに低い振動数ではかえっておそくなる。580 c/s より低 い振動数では加振の初期の充てんは急激であるが,やがて飽和密度 に達し,さらに加振を続けると充てん密度が低下する。この傾向は 振動数が低いほど著しく,第8図に示すように振動数が低くなるほ ど到達充てん密度が低下していることは、この傾向に由来してい る。2,425 c/s の場合には被覆管の共振振動数に近いために誘起され た被覆管の共振現象の影響を受けて,異常な充てん密度経時変化を 示しているものであろう。 300 c/s から 3,000 c/s の間で一定の加速度を保ちながら振動数掃



第11図 正弦波による振動充てん密度の経時変化(その3)

引を繰返しても,第8図に示した相当する加速度における最高充て ん密度より若干低い飽和密度しか得られなかった。掃引振動で飽和 密度に達した後,第8図に示した最適振動数で加振すれば各加速度 における最高密度に近い値を得ることができた。

低い振動数で加振し,充てん密度が飽和値に達した後,かえって 低下してしまった燃料棒においては,加振終了後に押え棒を取り除 いてみると,密に充てんした粉末層の上にゆるく充てんした粗粒子 層が分離して存在し,この層に隣接した充てん層の部分では,粗粒 子量が充てん前の配合割合より非常に少なくなっていることがわか った。このような粗粒子と微粒子の分離がおこると,ほぼ分離の程 度に比例して空げきが増加し,充てん密度が低下することになる。 このように,振動充てんの過程には空げきが減少する充てん現象と

空げきが増加する粒子の分離現象が含まれていると考えて、上に述 べた結果を検討してみると、互いに相反する結果を生ずる二つの現 象が、いずれも一定の加速度においては振動数が低いほど著しく、 一定の振動数においては加速度が大きいほど著しいことがわかる。 振動充てんの基本的な作用は緒言にも述べたとおり、粒子集合体 に対するかきまぜ作用である。かきまぜ作用が著しいほど充てんは 急速に、かつ高度に進むと考えられるが同時に質量の大きい粒子 溶融二酸化ウランの振動充てん法に関する研究

が大きい運動量を賦与されて粉末充てん層の表面から逸脱する現象 も、かきまぜが著しいほど急速に、かつ高度に進むことが知られて いる(13)。正弦波振動の特長として変位,速度,加速度,振動数の間 には(2), (3)式のような関係があるから

 $A = 2 \pi f V$(2) $A = 4 \pi^2 f^2 D \dots (3)$ ここに A: 加速度ベクトルの大きさ (cm/s^2) V: 速度ベクトルの大きさ (cm/s) D: 変位ベクトルの大きさ (cm) π: 円 周 率 f: 振 動 数 (c/s)

かきまぜの強さは加速度の大きさではなく,むしろ変位または速度 の大きさによって支配されていると考えられる。加速度の影響につ いては, 充てんが進み, 空げきが減少するに従って粒子表面におけ る摩擦が大きくなるので、一定の大きさの変位または速度をもって してはかきまぜが減退し、さらにかきまぜを維持するためにはより 大きい力、すなわち加速度を与えなければならないものと考える。 以上の検討結果に従って振動充てんの過程を追ってみると,かき まぜによって空げきを粒子が充てんし、粒度分布によって与えられ る限界空げき率に近づくが、一方では粗粒子の分離によって充てん 層上端部の空げきが増加する。空げきの減少と増加はいずれも充て

l :	棒または管の長さ	(cm)
g:	重力の加速度	$(980 \text{ cm}/\text{s}^2)$
E :	縦弾性係数	(ステンレス鋼の場合 2×10 ⁹ g/
		cm ²)
	広	(フテンレフ網の担合70g/cm ³)

ρ: 密 度 (ステンレス鋼の場合7.9g/cm³) (4) 式に g, E, p の値を入れると基本固有振動数は

$$f = \frac{5 \times 10^5}{4 l}$$
 (c/s)(5)

となり、第12図における共振振動数の測定値は(5)式において管 長を50 cm とした場合に一致する。共振点においては加速度および 変位の大きい振動が被覆管から粒子集合体に与えられるのでかきま ぜは激しく,充てんは急速に進行するが粒子の分離も激しく,長時 間共振点において加振しても必ずしも高密度にならない。

粒子集合体はかきまぜればある程度の粒子粉砕は必ず生じるが, 共振点における加振によっては粒子の粉砕がいっそう著しくなる。 前述の Hanford 研究所の特許⁽¹⁰⁾においては, 被覆管の共振点で "Self Swaging"と呼ぶ現象があるため共振点をとおって振動数を 掃引しながら加振すれば高密度を得ることができるとしているし, GEの研究でも⁽¹³⁾, 飽和密度に達した後短時間共振させると, 続い ての加振でより高密度を得ることを認めている。これらは、共振点 においては被覆管内壁の影響で粒子接触点が破壊するため,限界空 げき率が低下することによっていると考えられる。本研究において も、一たん飽和密度に到達したのち、短時間共振点で振動し、再び 前の振動条件に戻す操作を繰返すことにより最終到達密度を91%と することができた。

んの進行に伴っておそくなるが,両者の速さが等しくなれば,限界 空げき率を下まわっていても充てん密度は飽和してしまい、後者が 大きくなれば加振につれて充てん密度はかえって低下することにな る。したがって加速度を大きくして限界空げき率に近づけようとす れば,振動数を高くして粒子の分離を抑止しなければ必ずしも高密 度にはならないことになる。

一定の加速度による正弦波で加振したときの被覆管底部よりの検 出加速度を第12図に示す。空の被覆管は約2,500 c/s における顕 著な共振とこれに続く反共振を示しているが、二酸化ウランを入れ た場合には共振現象が著しく減退していることがわかる。一般に細 長い、断面が均一な棒または管の縦振動固有振動数は(4)式で与え られる(14)。

f: 固有振動数 (c/s)

3

3.3 各種の非調和波形による振動充てん

一定の加速度で振動充てんする際に Vibration Exciter に対する 入力波形をいろいろと変えてその影響をしらべた。 加速度を Automatic Vibration Exciter Control の指示計(波高値整流指示形)の うえで40gとし,振動数を580 c/sとした場合の長さ500 mmの燃 料棒における振動充てん密度を第3表に,充てん密度の経時変化を 第13図に示す。これらの結果によれば、正弦波の場合より高い充 てん密度を得るのは鋸歯状波(+)の場合のみであり、ほかの波形に よってはむしろ密度が低かった。パルス波の場合には充てん密度は タップ密度より低く,ほとんど充てんが行なわれていないことがわ



90



日立製作所日立研究所創立三十周年記念論文集

		北京重任米佐	ベクトル値	実	劾	値	大イノ家庭
波	形	(c/s)	加速度 (9)	加速度 (9)	速 度 (cm/s)	変 (µ)	光 Cん福度 (% T.D.)
正弦波	\sim	580	40	28.3	7.65	29.6	86.3
三角波	\sim	580	40	28.6	7.20	25.5	85.9
鋸歯状波((+)M	580	40	30.2	3.45	12.5	86.7
鋸歯状波((-) NN	580	40	29.5	3.75	13.4	83.5
方形波	ГЦ	580	40	29.5	4.83	18.3	85.6
パルス波((+) ++	580	40	30.2	1.49	2.3	80.0
バルス波((-) ++	580	40	30.2	1.49	2.3	78.3

第3表 各種の波形が充てん密度に及ぼす影響



A/11/2/11/2/1





鋸 歯 状 波 (-) 下: 入力波形 上: 検出波形 580 c/s 時間軸 1 ms/cm

第15図 鋸歯状波による場合の被覆管底部よりの 検出加速度波形





第14図 種々の波形による振動の周波数分析結果と波形写真

合を除いて非調和波形入力による場合は580c/s の基本振動数に相当するピークのほかに, 4,000 c/s の装置の共振に由来するピークがある が,後者が前者より高いほど第3表に示した速 度および変位の実効値が小さくなっている。

第3表および第14図の結果において、鋸歯 状波(+)の場合には Vibration Exciter による 加振条件の点で鋸歯状波(-)の場合とまったく 差異がないにもかかわらず高い充てん密度を得 ている。しかし、第15図に示すように被覆管 底部における検出加速度波形を比較してみると 鋸歯状波(+)の場合に高振動数成分が少なく, 被覆管の加振挙動に相違があることがわかる。 このように、同一の振動数、加速度、速度およ び変位を与える振動によっても, 被覆管の加振 挙動が異なれば充てん密度が異なるということ は,充てん性に及ぼす振動波形の影響に関して 検討の余地があることを示している。

3.4 振動充てん燃料棒の試作

an also also show also 前節までの短尺燃料棒に関する検討結果を用 いて,長さ2mまでの実用的長さを有する振動 充てん燃料棒を試作した。この結果,長尺被覆 管に特有な低い振動数における激しい共振現象 を避ければ, 短尺燃料棒の場合とほとんど同じ 加振時間で, やや高い飽和密度に達しうること がわかった。これは3.2節で述べた粒子分離に 由来して燃料棒の長さに関係せず空げきが増加 するため,長尺燃料棒においては粒子分離によ る密度の相対的な低下が少ないためであると考 えられる。 これらの燃料棒のうち,第16図の組立図に示すものは動力炉燃 料として実用的な UO₂ 純度, 密度, 寸法, 形状および被覆の健全 性を有するもので、その製造工程は第17図、試作結果の一例は第 4表,完成品の外観写真は第18図に示すとおりである。この燃料棒 に対しては第5表に示すとおりの諸試験、検査を行ない、被覆管、

かる。

第3表の結果から各非調和波形による場合の加速度実効値は正弦 波より若干大きいのに対して,変位および速度の実効値はいずれも 正弦波より小さく, 鋸歯状波(+)の場合を除いて充てん密度はほぼ 変位または速度の大きさの順になっており,前節の考察結果と合致 する。

溶融二酸化ウランの振動充てん法に関する研究



第16図 振動充てん燃料棒組立図



	吉果例	作結	棒試	燃料	71	振動充	4表	第
--	-----	----	----	----	----	-----	----	---

試 料 番 号	IV	試 料 番 号	IV
燃料棒全長	830 mm	UO ₂ 0/U	2.00
燃料棒外径	12.01 mm	UO2 不純物含量	Al 28 ppm
燃料棒内径	10.81 mm		B <0.25 ppm
UO ₂ 充てん 層長さ	750.0 mm		C 67 ppm
ブレナム長さ	40.0 mm		Cr 9 ppm
被 覆 管	SUS-27TP, 1/4H		Fe 137 ppm
UO ₂ 充 て ん 密 度	89.7%, T.D.		Mn < 2 ppm
UO ₂ 充 て ん 効 率	90.6%		Ni 16 ppm
UO2 平均粒子密度	99.1%, T.D.		Si 39 ppm
UO_2 充てん重量	676.0g		

第5表 振動充てん燃料棒試験検査結果

項 目	化 様	結 果
外観•寸法検査	燃料棒曲り	全長に対し 0.1 mm 以下
X 線透過検査	Aキャップ溶接部	欠陥 なし
X 線透過検査	Bキャップ溶接部	欠陥 なし
X 線透過検査	UO ₂ 充 て ん 部	局部的低密度部分なし
X 線透過検査	プレナム部	充てん時と変化なし
He 漏 え い 検 査	2.10×10-9 atm•cm ³ /sec 以下	良
表 面 汚 染	5×10-5 µc/燃料棒表面以下	良
オートクレーブ試験	純水中 250°C, 40 kg/cm ² , 24 時間	やや着色したほか異常なし

ど高く,充てん密度が最高となる振動数は加速度が大きいほど高 振動数側にずれる。

第17図 振動充てん燃料棒製造工程図



第18図 振動充てん燃料棒外観

端栓溶接部,燃料部のいずれにも欠陥が認められず健全な燃料棒で あることが確かめられた。 (3) 振動充てんの過程には空げきの充てん,粗粒子の分離,粒子の粉砕などの現象が含まれており,これらの現象は粒子系のかきまぜが激しいほど起きやすい。また粒子系は空げきが減ずるほど増大する拘束を受けており,粒子系をかきまぜるためには十分な大きさの変位(または速度)を与えると同時に拘束が大きいほど大きい加速度を与える必要がある。

(4) 振動充てんに及ぼす振動波形の影響を検討し, 鋸歯状波に よる振動は正弦波による場合より高密度を得るのに効果があるこ とを確かめた。

(5) 振動数掃引は必ずしも好結果を与えなかったが,飽和密度 に達した後比較的短時間の共振点における振動を繰返し加えるこ とにより,最高充てん密度を90%以上とすることができた。

(6) 振動充てん法において,到達充てん密度は燃料棒の長さに 関係せず,むしろ長い燃料棒のほうが密度が高くなることを長さ 500 mm から 2,000 mm の間の燃料棒について確かめた。

(7) 今回開発した振動充てん法により振動充てん燃料棒を試作 し各種の試験により試作品の健全性を確かめ、原料調製から製品 の検査にいたる一貫した振動充てん燃料の製造技術を確立した。 終わりに臨み、本研究の遂行にあたり常にご指導、ご激励を賜わ った日立製作所日立研究所中戸川部長および岡島主任研究員に対し 深く感謝する。本研究は昭和 37 年度原子力平和利用研究費補助金 の交付を受けて、昭和 37 年 5 月より 38 年 8 月まで行なった研究の 一部であり、補助金交付決定から研究完了までご援助をいただいた 科学技術庁原子力局の関係各位に深く感謝する。

参考文献

(1) Symposium of Powder Packed Uranium Dioxide Fuel

4. 結 言
溶融二酸化ウランの振動充てん法に関する研究を行ない,次の結論を得た。
(1) 充てん性の良好な三粒度成分および四粒度成分の粒度分布を見いだし,また粉砕粉末の損失を少なくすることができるような充てん性の良好な連続多成分粒度分布を見いだした。
(2) 正弦波による振動充てんで充てん密度は加速度が大きいほ

Elements (Vol. 1) CEND-153 (1961)
(2) Symposium of Powder Packed Uranium Dioxide Fuel Elements (Vol. 2) CEND-153 (1961)
(3) Improved Uranium Oxide Fuels, TID-5985 (1960)
(4) R. K. McGeary: Mechanical Packing of Spherical Particles, J. Am. Ceram. Soc., 44, 513~522 (1961)
(5) H. E. White and S. F. Walton: Particle Packing and Particle Shape, J. Am. Ceram. Soc., 20, 155~166 (1937)
(6) H. H. Hausner: Vibratory Compaction in "Agglomeration", 72-86, Interscience (1960) 日立製作所日立研究所創立三十周年記念論文集

- W. C. Bell: Vibratory Compacting of Metal and Ceramic Powders, J. Am. Ceram. Soc., 38, 396~404 (1955)
- (8) B. E. Murtha & W. P. Chernock: The Development and Testing of the UO₂ Fuel Element System, Summary Report, CEND-141 (1961)
- (9) J. J. Hanth: Vibrationally Compacted Ceramic Fuels, HW-67777 (1961)
- (10) J. J. Hauth: Vibration Compaction, US Patent, No. 3042,

594 (1962)

- (11) J. M. Dallavalle: Micromeritics (1948)
- (12) H.G. Marah: Fabrication of UO₂ Fuel Elements by Vibrational Compaction, DP-681 (1962)
- (13) W. R. Dehollander: Vibrational Compaction of Uranium Dioxide, GEAP-4032 (1962)
- (14) 谷口,藤井共訳: デン・ハルトック,機械振動論 (1960)



E延機のロール間隙または被圧延鋼帯の幅方向の厚さが均一でない場合には鋼帯は幅方向に移動させようとする力を受けるので,圧 延ロールと鋼帯の中央線が一致しなくなる。特許第414661号は上 記のごときロール間隙の不均一および鋼帯の幅方向厚さの不均一が 鋼帯の両側端の張力を検出することによって監視できることを応用 したもので,張力を平衡させる方向に常に制御しようとするもので ある。

って測定し両者が平衡するように制御する。このように圧延圧力によって制御したのが特許第414662号である。 (渡辺)



図示の具体例によって説明すると左右の張力感応装置(鋼帯の両 端部に接触するローラを有する)8L,8rによって測定される張力がア ンバランスになると有極リレー15のいずれかの接点16または17が 閉じる。一方リレー19の接点20はロール駆動電動機と連結され周 期的に閉じるので界磁制御開閉器22または23は左右の張力が平衡 するまで間けつ的に閉じられる。開閉器22または23が閉じると発 電機26,27は励磁されるが界磁巻線24,25は逆極性に接続されて いるから発電機電圧の極性は逆になる。したがって圧下用電動機は それぞれ逆方向に回転し左右の圧下装置33L,33rのうち一方はゆる められ他方はさらに圧下され左右の張力を一致させる。この操作は 幅方向の厚さの異なる鋼帯がはいってきたときも、圧延ロールの幅 が不均一のときも同様に制御される。

また特許第414661号は鋼帯両端部の張力を測定比較したが、これはロール間の圧延圧力を測定しても同様の制御ができる。すなわち圧延ロールの左右端の圧延圧力を2つの圧力感応装置81,8rによ

特許 第244780号

整

磁

用

電磁型計器が温度の影響で間違った指示をすることを防ぐために 計器の磁場の強さを温度の変化に対して自動的に補正する整磁合金 を付設することが行なわれる。本発明前に存在した整磁合金のおも なものはニッケル70%~90%に銅30%~10%からなるモネルメタ ル,鉄70%ニッケル30%を主成分とする鉄、ニッケル合金、ニッ ケル30%~51%、クローム1~18%、残り鉄からなるニッケル、ク ローム合金などであった。モネルメタルは高価であり、鉄、ニッケ ル合金は成分変動や加工法の変動による影響が鋭敏なため再現性の 点で難があり、ニッケル、クローム合金はこれらの点で改良されて おりながら加工性の点になおむずかしさがあった。

本発明はニッケル29~50%、マンガン1~20%、残部鉄を主とし

小野健二·根本 正 早取初蔵

金

合



さらに炭素量を0.1%以下に押えたことを特徴とするもので、上述 のすべての欠点を改良したものである。マンガンの添加量が増加す ると図のごとく透磁率が低下するが、その傾向はニッケル量の調整 などに比し緩慢であり、しかも直線的である。したがって任意の特 性の合金を再現することがきわめて容易である。またマンガンの添 加によって合金の同素変態点を著しく低下することができしたがっ て低温における整磁特性を改善することができた。さらにマンガン 添加により合金の加工性を良好にし、製品化を容易にした。 (高橋)

--162 ----