

分置

公開資料

PNC TN 8410 91-089

高速炉燃料要素のワイヤスペーサ 巻き付け技術の開発

動燃技報 No.77(1991)別刷

1991年3月

動力炉・核燃料開発事業団
東海事業所

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-11 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 - 33

動力炉・核燃料開発事業団

東海事業所

技術開発推進部・技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to: Technology Management Section, Tokai Works, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4 - 33, Muramatsu, Tokai-Mura, Nakagun, Ibaraki-Ken 319-11, Japan.

© 動力炉・核燃料開発事業団 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1991



高速炉燃料要素のワイヤスペーサ 巻き付け技術の開発

野上 哲也 関 信夫

沢山 武夫 石橋 隆

東海事業所 プルトニウム燃料工場 製造加工部

資料番号：77-8

Development of wire wrapping technology for FBR fuel pin

Tetsuya Nogizumi Nobuo Seki

Takeo Siwayama Takashi Ishibashi

(Plutonium Fuel Production Division, Tokai Fuel Plant, Tokai Works)

高速炉燃料集合体では、燃料要素相互の間隔を保持するため、ワイヤスペーサ方式が採用されている。燃料要素へワイヤスペーサを高精度で、かつ、自動で巻き付けるためには様々な技術的課題を克服する必要があった。

「常陽」MK-I燃料の試作段階で基本技術を開発し、昭和48年から燃料の製造を行った。その後、昭和53年に設置した「常陽」MK-II燃料用の設備では、ワイヤの挿入方法、巻き付け精度の確保等に様々な工夫を取り入れ、ほぼ単機での自動化を達成した。これらの技術を集約し、昭和62年にプルトニウム燃料第三開発室に設置された「もんじゅ」および「常陽」燃料用の設備では、より改良と信頼性の向上を図り、ワイヤスペーサ巻き付けの完全自動化を達成した。

1. はじめに

「常陽」および「もんじゅ」燃料要素の外周には、燃料集合体として組み立てた時に燃料要素相互の間隔を保持し、冷却材の流路を確保することを目的として、ワイヤスペーサが巻き付けられる。燃料要素の間隔を保持する方式としては他に新型転換炉等で採用されているグリッド方式があるが、冷却材の圧力損失が大きいという不利な面があり、高速炉燃料においては、世界的にもワイヤスペーサ方式が主流となっている（図1）。

ワイヤスペーサは被覆管と同材質のSUS316相当鋼で、20%の冷間加工材であるため、剛性が高く、これを燃料要素外周に一定ピッチで緩みなく巻き付けるためには、種々の技術開発が必要であった。

ワイヤ巻き付けの基本技術は、「常陽」MK-I燃料の試作段階で開発され、昭和48年より開始した「常陽」MK-I燃料の製造に適用された。当時のワイヤ巻き付け設備は一部機械化されていたものの、ワイヤの固定溶接などのために當時2人の作業員を必要とした。その後、量産性および、被ばくの低減化の面からワイヤ巻き付けの自動化技術開発を進め、昭和53年には「常陽」MK-II燃料用として、単機での自動化設備を完成した。これらの運転

経験を基に、現在の「もんじゅ」および「常陽」MK-II用の設備が設計、製作され、物流等を含めたワイヤ巻き付けの完全自動化を達成することができた。

本報告では、今までに開発したワイヤ巻き付け技術をとりまとめ紹介する。

2. ワイヤ巻き付けの概要

2.1 ワイヤ巻き付け方法

ワイヤスペーサの巻き付けは、下部端栓のワイヤ孔にワイヤを通した後、これを溶接により固定し、巻き付け治具によって燃料要素とワイヤが一定の角度を保つようにはさみ込み、この治具の移動と燃料要素の回転を同期させることにより巻き付け、最後にワイヤの他端を上部端栓のスリット部に挿入後、固定し終了する（図2）。

この際、燃料要素表面に密着して巻き付けられるように、ワイヤに適度の引張り荷重がかけられる構造となっている。この荷重は重すぎると燃料要素変形の原因となり、軽すぎるとワイヤにゆるみが発生しピッチを変動させる原因となる。このため、ワイヤ径、冷間加工度等を考慮し適切な値が決定される。試作結果から巻き付け荷重は、細径ワイヤ（約0.9mm）を使用する「常陽」MK-II炉心燃料では5

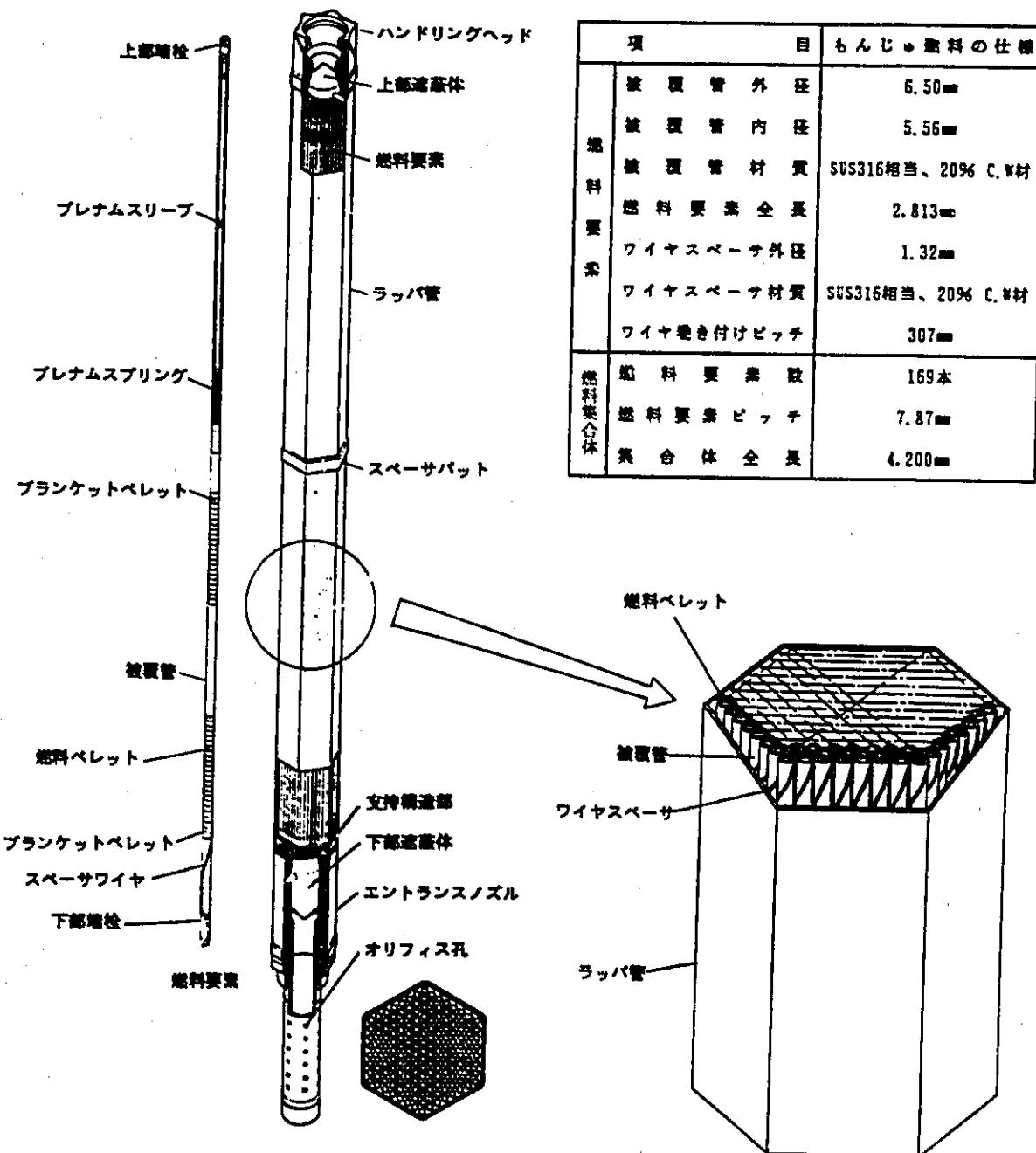


図1 「もんじゅ」燃料集合体

kg、太径ワイヤ ($\phi 1.32\text{mm}$) の「もんじゅ」炉心燃料では10kgとなっている。

2.2 ワイヤの固定方法

ワイヤの端栓への固定方法には溶着法と玉止め法の2通りの方法がある。

溶着法は端栓へ直接ワイヤを溶接する方法であ

り、全く熱容量の違う端栓とワイヤを溶接するため、安定した品質を維持するという点から困難な技術である。一方、玉止め法はワイヤの先端のみを溶接により玉状にし、これを端栓に引っ掛ける方法であるため、比較的容易である。また、端栓へ直接溶接していないため、ワイヤを取り外して再度巻き付け也可能であるという大きなメリットがある(図3)。

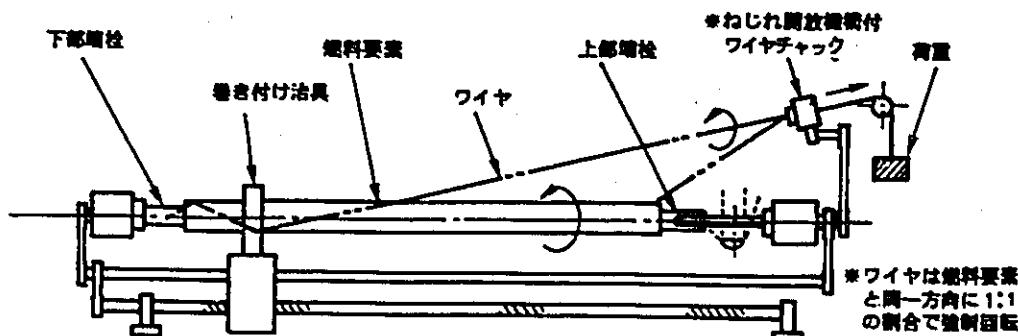


図2 ワイヤ巻き付け原理図

「常陽」、「もんじゅ」炉心燃料はこれらのメリットおよび、自動化に適しているという点を生かし、すべてこの玉止め法が採用されている。

3. 卷き付け技術のポイント

3.1 ワイヤのねじれ防止

ワイヤの巻き付け時にワイヤの一端を端栓に固定し、燃料要素を回転するとワイヤにはねじれが発生する。このままの状態で巻き付けを行うと、残留応力によりワイヤピッチが大きく変動し、一定ピッチにワイヤを巻き付けることは困難となる。

このため、通常はワイヤチャック部にフリー回転機構を設け、ねじれの開放を行っているが、巻き付け荷重がかかっているため完全にねじれを開放することは不可能である。この問題を解決するため、燃料要素1回転に対してもワイヤチャック1回転の割合で同一方向に強制回転させ、ねじれを開放させる機構を開発した(図2)。

これによりピッチ精度は大幅に向上するとともに、巻き付けピッチの経時変化も生じなくなった。

3.2 リード角

巻き付けられたワイヤと燃料要素中心軸との相対角度をリード角といふ。ワイヤ巻き付け時には、このリード角と同一の溝が彫られた巻き付け治具により燃料要素とワイヤを挟み込み、ワイヤの巻き付けを行う。ワイヤにストレスを与えることなく、一定ピッチで巻き付けるためには、ワイヤをワイヤチャックにより保持する際の角度も、巻き始めから終りまでこの角度を保つことが望ましい。

しかし、設備の構造上このような理想的巻き付け条件を達成することは難しい。図2に示すようにワイヤチャック部はほぼ固定状態であるため、巻き始めと終りでは大きな角度差が発生する。したがってあまり極端にリード角と保持角が異なった場合、巻き付け治具端部でワイヤをしごくことになり、ワ

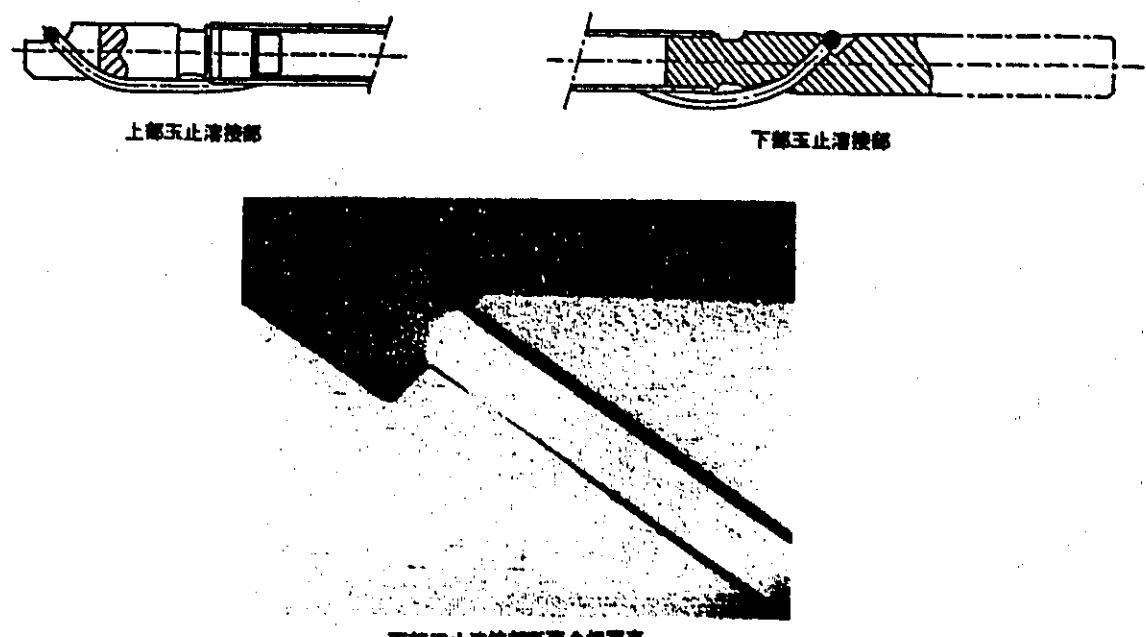


図3 玉止め接続方法

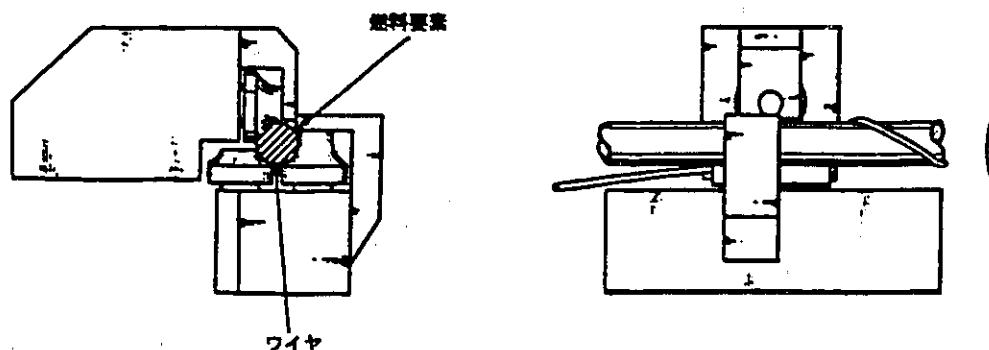


図4 ローラ型巻き付け治具

やに蓄積されたストレスにより、巻き終り側（上部端栓側）でのピッチ変動が大きくなる。また、このストレスを開放しようとする力が常時作用しているため、わずかな振動でもピッチがずれやすくなる傾向もみられ、ワイヤ径が太くなるほどこの傾向は顕著になる。

このため、現在ではこれらの問題を解決すべく、設備設計段階から燃料要素中心軸とワイヤチャック間の距離をできる限り近付け、巻き終り時点でのワイヤの保持角をリード角に近付ける配慮が成されている。

3.3 表面傷の防止

巻き付け治具は燃料要素およびワイヤと強く接触して移動するため、燃料要素表面に傷を発生させる場合がある。これを防ぐために、治具には潤滑性のある樹脂材が使用される。しかし、燃料要素表面には加工の際の取り扱いにより、微細な金属粉が付着している。この微細な金属粉が巻き付け治具内にくい込み、これが燃料要素表面との接触をくり返すうちに金属の塊にまで成長し、燃料要素表面に規格値を超える傷を発生させることとなり、自動化の場合には、大量の不良品の発生に結びつく危険性があった。

これらの欠点を解消するために、図4に示すローラ型巻き付け治具を開発した。この治具は従来の面接触タイプと異なり、3つのローラを組み合わせた線接触タイプとし、回転しながら接触する方式としたため、ゴミや金属粉の巻き込みを防止することができた。また、従来の治具ではワイヤガイド溝の消耗が激しく、一定処理本数ごとに交換の必要があったが、ローラ型巻き付け治具は消耗が少なく、メンテナンス性も改善された。

3.4 ワイヤピッチの測定

ワイヤピッチの測定は、ゆるやかに巻かれたワ

ヤの頂点間の距離を計測するもので、部分的に見ると頂点部の変化量がわずかであり、測定しにくいものである。このため、初期の頃は巻き付け治具と同様に溝の切られた2つ割りで円盤状の治具を取り付け、これをワイヤにならって回転させ、1回転する間の移動量を計測し、ピッチ測定を行っていた。しかし、この方法ではワイヤに直接接触して計測するために、測定速度も遅く、測定のたびにピッチずれの危険性があるなど、測定精度、信頼性とも十分とは言えなかった。

現在ではイメージセンサを使用し、非接触で燃料要素の直径（ワイヤを含む）を測定し、頂点部を検出する方法が採用されている。しかし、この方法でも最頂部を一点のみ検出することは不可能であり、図5に示すように直径の測定値にある一定のしきい値を設定し、立上がり、立下りの双方でこの値を超えた時点の移動量を取り込み、これを平均化することで頂点部を割り出している。

この方法により、現在では測定の再現性も±0.1 mmまで向上するとともに、非接触であるという特徴を生かし、高速で高い信頼性が得られている。

3.5 燃料要素のハンドリング

燃料要素の外周に粗いピッチで巻き付けられたワ

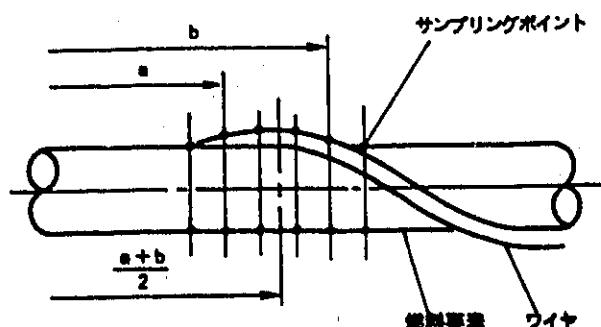


図5 ピッチ測定方法

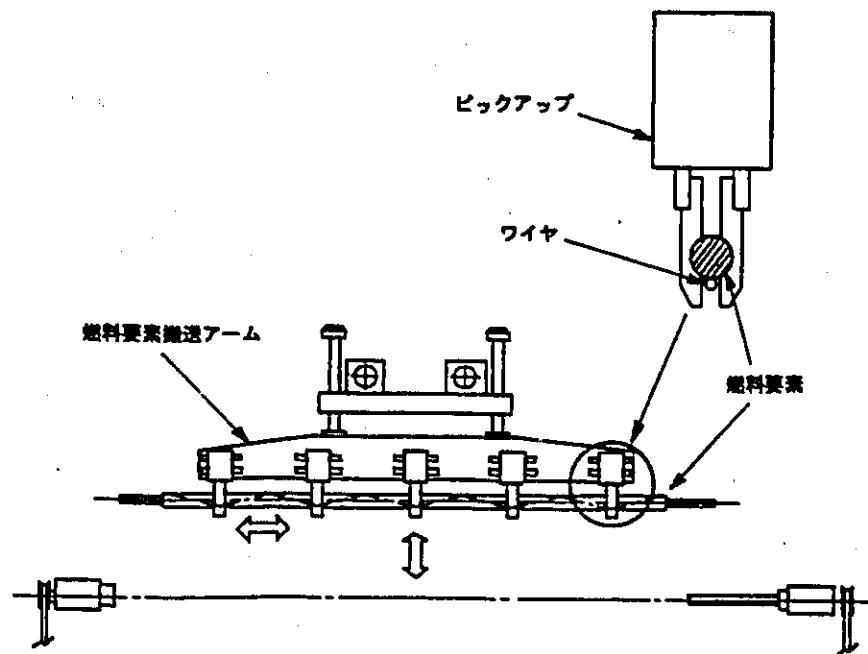


図6 燃料要素ハンドリング機構

いやはわずかな力でもずれを生じやすい。このため、巻き付け後の燃料要素の取り扱いは、曲げや振動を与えることなく、直接ワイヤに触れないよう慎重に行う必要がある。

現在のように自動化の進んだ設備では、直接手作業で燃料要素を取り扱う事はなくなっているが、設備設計段階で様々な対応をとっている。まず、設備内で燃料要素を搬送するアームに取り付けられた

ピックアップについては、巻き付けピッチの設定に合わせ、図6のようないわゆる上面または下面にある部分を選んで配列し、直接ワイヤをつかんだり衝撃を与えないよう考慮するとともに、燃料要素にたわみが発生しない程度（約500mm間隔）に配置している。また、ピックアップには軸方向にスライド機構を設け、燃料要素の軸方向に外力が加わると、ピックアップもあわせて逃げ、ピッチがずれない構

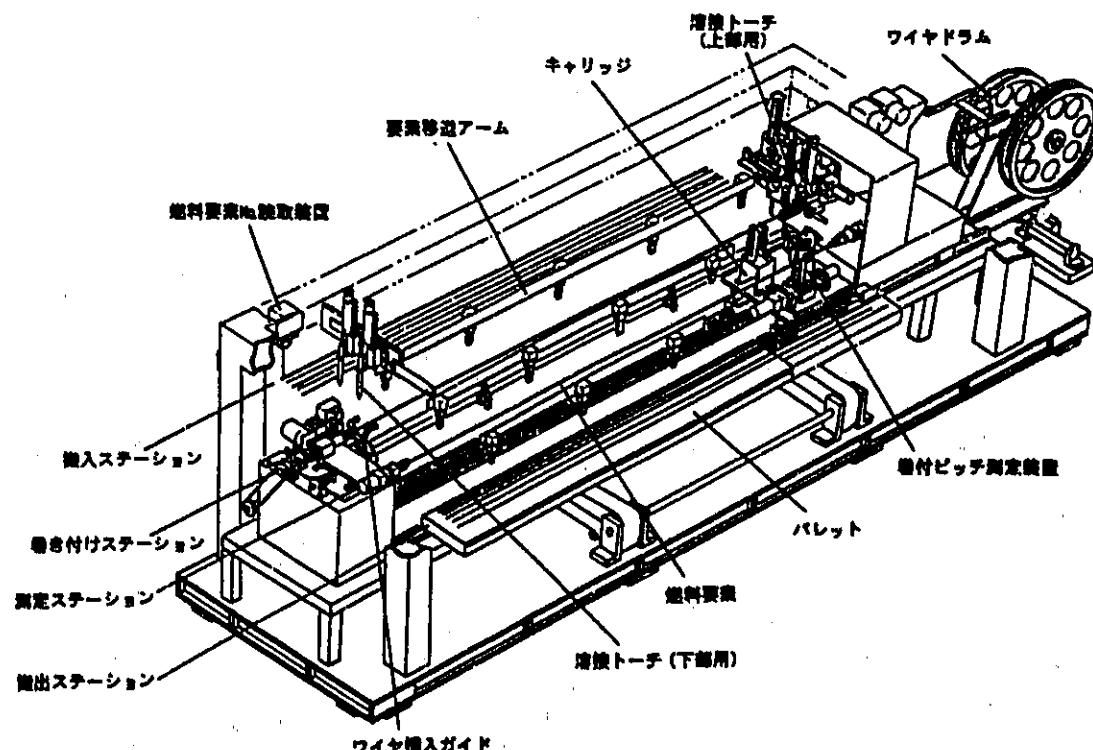


図7 「もんじゅ」巻き付け設備概略

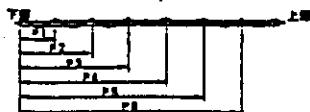


図8 「常陽」燃料巻き付け精度

	燃料種別	規格値	平均値	標準偏差
P1	「常陽」MK-I	266±10 mm	264.2 mm	2.38 mm
	〃 MK-II	209±15	211.2	1.15
P2	「常陽」MK-I	532±10	541.4	2.01
	〃 MK-II	418±15	420.3	1.11
P3	「常陽」MK-I	798±10	798.5	2.16
	〃 MK-II	627±15	625.7	0.85
P4	「常陽」MK-I	1,064±10	1,064.5	2.24
	〃 MK-II	836±15	834.9	0.98
P5	「常陽」MK-I	1,336±10	1,328.4	2.38
	〃 MK-II	1,045±15	1,045.1	1.04
P6	「常陽」MK-I	1,596±10	1,593.2	2.16
	〃 MK-II	1,254±15	1,255.9	0.94

「常陽」MK-I 燃料 N=7,600

「常陽」MK-II 燃料 N=6,362

造となっている。この他、工程内搬送用のパレット等についても、ワイヤが直接受部に接触しないよう考慮された設計がされている。

4. ワイヤ巻き付け設備の構成

プルトニウム燃料第三開発室に設置されている「常陽」および「もんじゅ」炉心燃料のワイヤ巻き付け設備は、前述の開発成果を取り入れた設備であり、概略を図7に示す。

この設備は、並列に4つの作業ステーション（以下STという）を持ち、燃料要素の搬入、巻き付け、測定、搬出の作業を並行して行える構造となっている。まず、設備にパレットで取り込まれた燃料要素は、搬入STですべて設備のテーブル上に取り出され、空となったパレットは再度巻き付け後の燃料要素を収納するため、搬出STへ移送される。次に、燃料要素の番号の読み取りや、上、下部端栓ワ

イヤ孔の位相ずれの確認、前工程の合否等をチェックした後、各STを順次移送されながら、巻き付け、測定の一連の作業が行われる。この間必要となるデータや、運転で得られたデータなどは、設備のシーケンサ、マイコンと上位計算機間で交信が行われ、全自动運転が可能となっている。

設備の処理能力については、これまでの動きを再検討し、むだな動き、時間を極力排除し、動作をできる限りオーバーラップさせることで、これまでの約1.5倍の処理速度を達成している。

5. 運転実績

プルトニウム燃料第三開発室では最初のキャンペーンとして、「常陽」MK-II 5次取替の燃料製造が、平成元年3月から平成2年1月にかけて行われた。

この間ワイヤの巻き付けは6,362本の燃料要素に対して行われ、これによって不合格となったものは無かった。また、その巻き付け精度も図8に示す通り、「常陽」MK-I 燃料製造当時のデータと比較すると、改善されていることがわかる。これはこれまで述べてきた様々な改善の成果であり、現在行われている「もんじゅ」初装荷燃料の製造キャンペーンにおいても、同様に良好な結果が得られている。

6. おわりに

ワイヤ巻き付け設備はこのように様々な改善により、巻き付け精度、処理能力、自動化レベル等、格段に進歩を遂げ、安定したワイヤスペーサの巻き付けが可能となった。

本設備の今後の課題としては処理能力のより一層の向上、単一設備での多品種燃料要素への対応等であり、これらに対応した開発を今後も行っていきたいと考えている。