

平成23年度第3次補正予算事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「分割コア連続巻線方式による高性能モーター用ステーターの製造法に
関する研究開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成25年 1月

委託者 中部経済産業局
委託先 株式会社ベステック

この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づき情報開示請求の対象の文書となります。

目 次

第1章 研究開発の概要	6
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	6
(1) 従来技術	6
1) 一体コア巻線式	6
2) 分割コア巻線式	6
3) 本研究開発である新技術（分割コア連続巻線方式）	7
(2) 研究開発の背景	7
(3) 研究開発の目的及び目標	8
1) 研究開発の概要	8
2) 開発装置の概要	9
3) 開発課題とサブテーマ	11
4) 研究開発の目標	11
1-2 研究体制	12
(1) 研究組織及び管理体制	12
1) 研究組織（全体）	12
2) 管理体制	13
(2) 管理員及び研究員	14
(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	15
1-3 成果概要	16
① 巻線機の高速度化、高精度化に関する検討	16
①-1 最適モーターの開発	16
①-1-1 最適モーターの開発	16
①-1-2 最適モーターの選定	16
①-2 コントローラーの処理能力の向上	16
①-2-1 高速型試作巻線機の開発	16
①-2-2 分割コア巻線機制御のソフトウェアの開発	17
①-3 巻線機の機械構造の耐加速度性の向上	18
①-3-1 高速型試作巻線機の開発	18

①-3-2 分割コア連続巻線方式試作巻線機の開発.....	18
①-3-3 動吸振器（巻線機の振動対策）の研究開発	18
② 分割コア連続巻線方式ステーター製造法に関する検討	18
②-1 分割コア巻線方式の実現.....	18
②-1-1 分割コアの開発	18
②-1-2 分割コア連続巻線方式試作巻線機の開発.....	19
②-2 溶接工程の自動化	19
②-2-1 分割コア連続巻線方式試作溶接機の開発.....	19
②-2-2 真円度測定についての研究開発.....	19
③ 試作機性能評価.....	20
③-1 高速型試作巻線機の開発	20
③-2 分割コア連続巻線方式試作巻線機の開発.....	20
③-3 分割コア連続巻線方式試作溶接機の開発.....	20
1-4 当該研究開発の連絡窓口	21
第2章 本論.....	22
2-1 研究内容及び成果.....	22
① 巻線機の高速化、高精度化に関する検討.....	22
①-1 最適モーターの開発.....	22
①-1-1 使用モーターの選定	22
①-2 コントローラーの処理能力の向上	22
①-2-1 高速型試作巻線機の開発	22
①-2-2 分割コア巻線機制御のソフトウェアの開発	22
①-3 巻線機の機械構造の耐加速度性の向上	23
①-3-1 高速型試作巻線機の開発	23
①-3-2 分割コア連続巻線方式試作巻線機の開発.....	23
② 分割コア連続巻線方式ステーター製造法に関する検討.....	23
②-1 分割コア巻線方式の実現.....	23
②-1-1 分割コアの開発	23
②-1-2 分割コア連続巻線方式試作巻線機の開発.....	23
②-2 溶接工程の自動化	23

②－2－1 分割コア連続巻線方式試作溶接機の開発.....	23
③ 試作性能評価	24
③－1 高速型試作巻線機の開発	24
③－2 分割コア連続巻線方式試作巻線機の開発.....	25
③－3 分割コア連続巻線方式試作溶接機の開発.....	29
③－4 分割コア連続巻線方式による高性能モーターの開発	33
第3章 全体総括.....	40
3－1 研究開発成果	40
3－2 研究開発後の課題・事業化展開.....	40

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 従来技術

1) 一体コア巻線式

方法：一体コア内部での、ノズル上下駆動と、コアの正逆回転によって巻線する。

特徴：長所：低コスト、短納期で、高生産性の巻線方法である。

短所：製品にノズルスペースが残るため、高密度な巻線ができない。

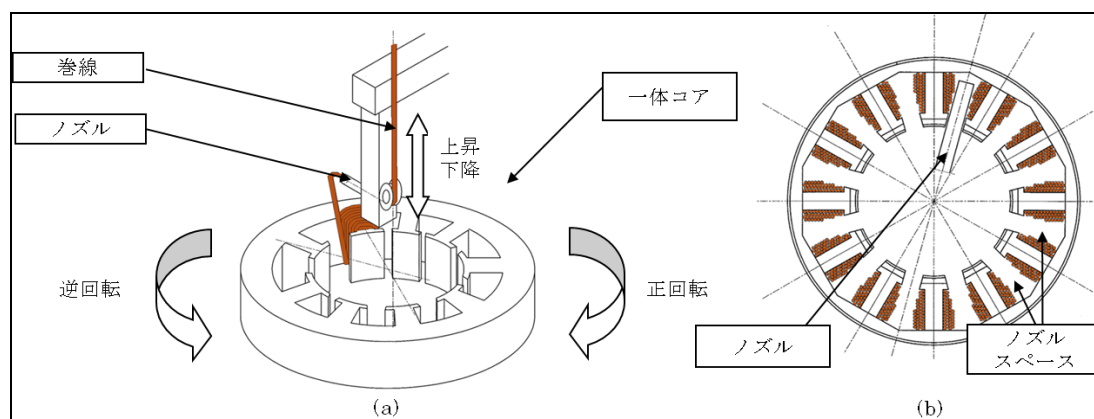


図 1 従来の技術①（一体機コア巻線）

2) 分割コア巻線式

方法：分割されたコアに巻線し、それを組立、各コアを溶接、また各巻線をバスバーに結線する。

特徴：長所：ノズルスペース無しの高密度巻線が可能である。

短所：分割コアの並び替え、コアの溶接、巻線の結線等、手作業に頼ることが多く、生産性が悪い

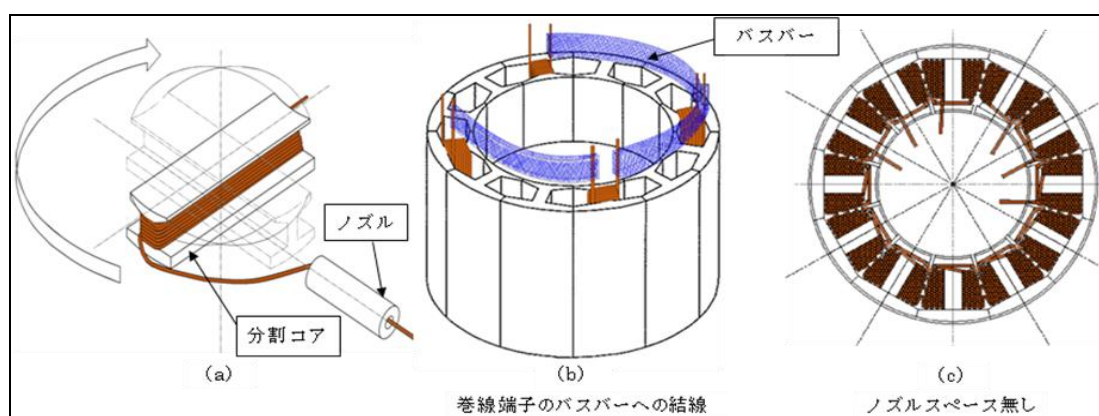


図 2 従来の技術②（分割コア巻線）

3) 本研究開発である新技術（分割コア連続巻線方式）

方法：分割コアを円周上に配置、外周からノズルで巻線を行った後、縮径にて自動溶接、バスバーへの結線も不要である。

特徴：一体コア巻線式の生産性と分割コア巻線式の巻線の高密度化の両方を兼ね備えている。

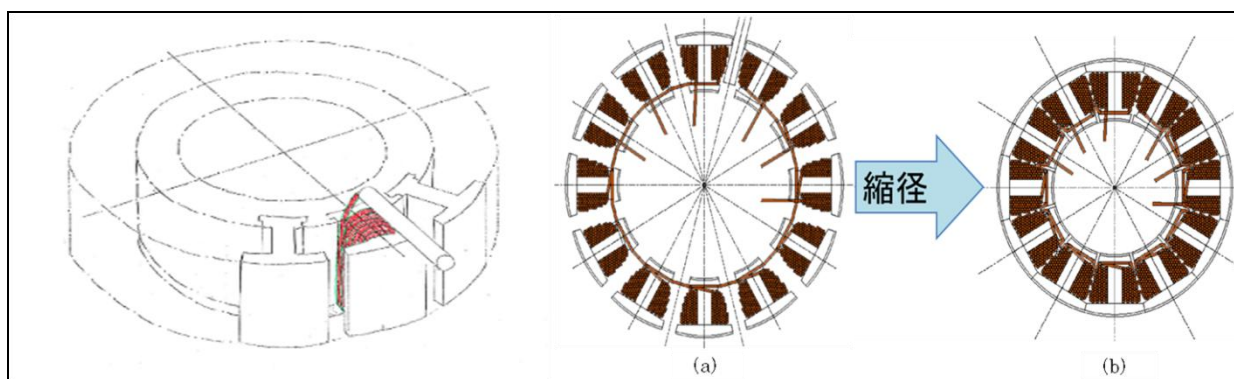


図 3 本研究開発である新技術（分割コア連続巻線方式）

(2) 研究開発の背景

自動車産業においては、既に、電気自動車（EV）やハイブリッド自動車（HEV）の全世界的な開発競争になっており、各社がその開発に社運を賭けている。

それらの自動車には、駆動用モーターやアシスト用モーターをはじめ、パワーステアリング用やオイルポンプ用といった数多くのモーターが使用されている。各々のモーターは、当該自動車の燃費（電費）向上のために、コンパクトで、高出力、低消費電力が求められている。つまり高性能なモーターが数多く必要となっているのが現状である。

また、ロボット産業や産業機械産業においても、数多くのモーター（主としてサーボモーター）が使用されている。当該ロボットの、或いは、当該産業機械の性能向上のために、これらのモーターも、コンパクトで高出力、低消費電力が求められており、これらの業界でも高性能なモーターが必要となっているのが現状である。

さらに、モーターは、家電、情報家電にはもちろんのこと、電動カート、電動車椅子、電動自転車や電動バイクを始めとするモビリティ手段にも装着され、まさ

に将来の産業を支える基幹ユニットである。

モーターの性能やコストは、各種最終製品の性能やコスト、耐久性に直接反映され、モーター技術が厳しい国際競争力を勝ち抜くキーテクノロジーの一つと言っても過言ではない。

川下企業からは、デザインの多様性の為に、高性能モーターの短納期化と低コスト化が強く求められている。従って、高性能モーターのステーター（モーターの回転子（ローター）に対し、モーターの固定側のことをステーターという。）巻線において、巻線技術を新しく改善することで、高性能なモーターの短納期化、低コスト化を実現する技術を開発する。

（３）研究開発の目的及び目標

１）研究開発の概要

本研究開発では、産業ロボット向けのサーボモーターを対象として、分割コア連続巻線方式ステーター製造装置の開発を計る。

ここで取り上げるステーターは、図４で示すような 出力 200w のモーター用ステーター（外形φ70×内径φ43×積圧 15.2mm の大きさ）であり、12 極それぞれに線を巻線する仕様である。当モーターは特に産業界における需要が多く、共同研究者でもあり川下企業でもある山洋電気株式会社からは、短納期化や低コスト化の見地から、巻線機の生産効率のアップが強く求められている。

なお、本ステーターは従来の図２で示した分割コア巻線式で生産しているが、コアの並べ替え等人手に頼る作業が必要とされるため、巻線工程で約 90 秒、溶接工程で約 2 分、結線工程で約 2 分、合計 5.5 分を要していた。

そこで本開発では、位置決め技術の高度化と巻線速度の高速化を図ることで、3 分以内に巻線出来る装置の開発を目指す。同時に無人化を実現することによって、大幅なコストダウンを実現する。本開発を基にして、将来は他のサイズや機種のもーターはもちろん発電機などへの展開を計る予定である。



図 4 サーボモーターとステーターの写真

2) 開発装置の概要

開発する巻線機の概要を模式的に図5に示す。まず図5で示すように、保持器の円周上に分割コアを配置する。続いて図6に示すように保持器においてコアを堅固に把持した後、外側よりノズルを臨ませて巻線する。この場合、図1で示す内側から巻線する一体コア方式に比べ、外側からのノズル方式では、コア同士の隙間を大きく取ることが出来るので、強固なノズルを使用することができ、巻線の高速化も可能となる。図7では、保持器を内側に引き寄せ、各コアの縮径を行うと同時に、巻線端部の処理を自動的に行う。さらに各コアの自動溶接を行う。

従来、巻線したコアの並べ替え、巻線の端部処理、溶接を人手に頼ってきたが、開発機械では以上の操作を、それぞれの機械上で自動的に行うことによって、生産性を向上させると共に、人手を大幅に省くことが出来る。

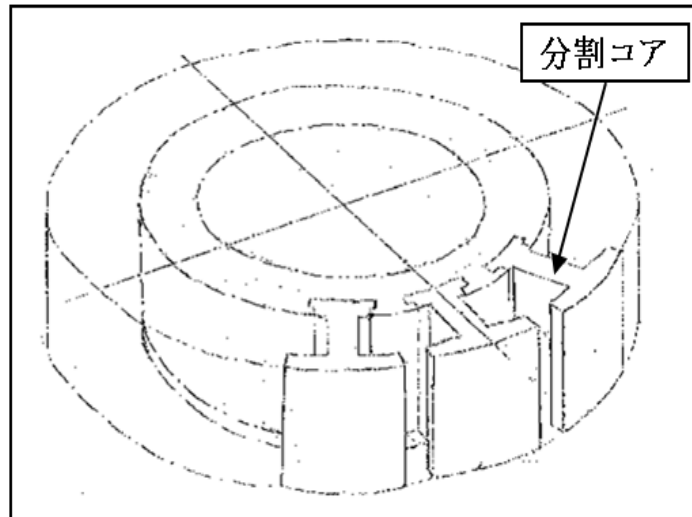


図 5 巻線機の保持治具図

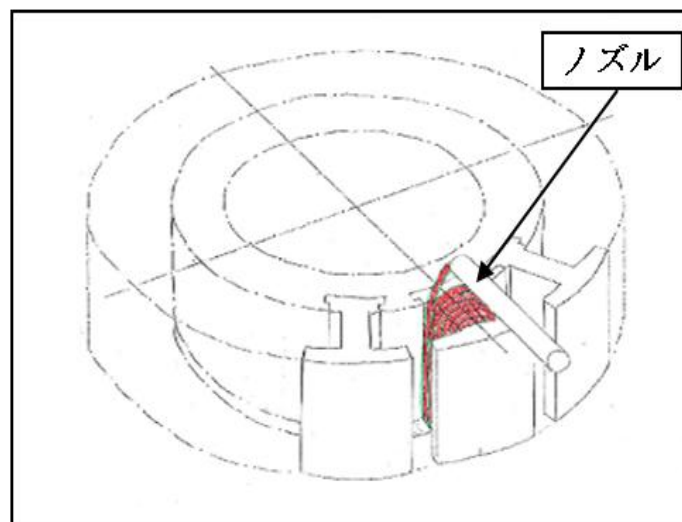


図 6 巻線工程

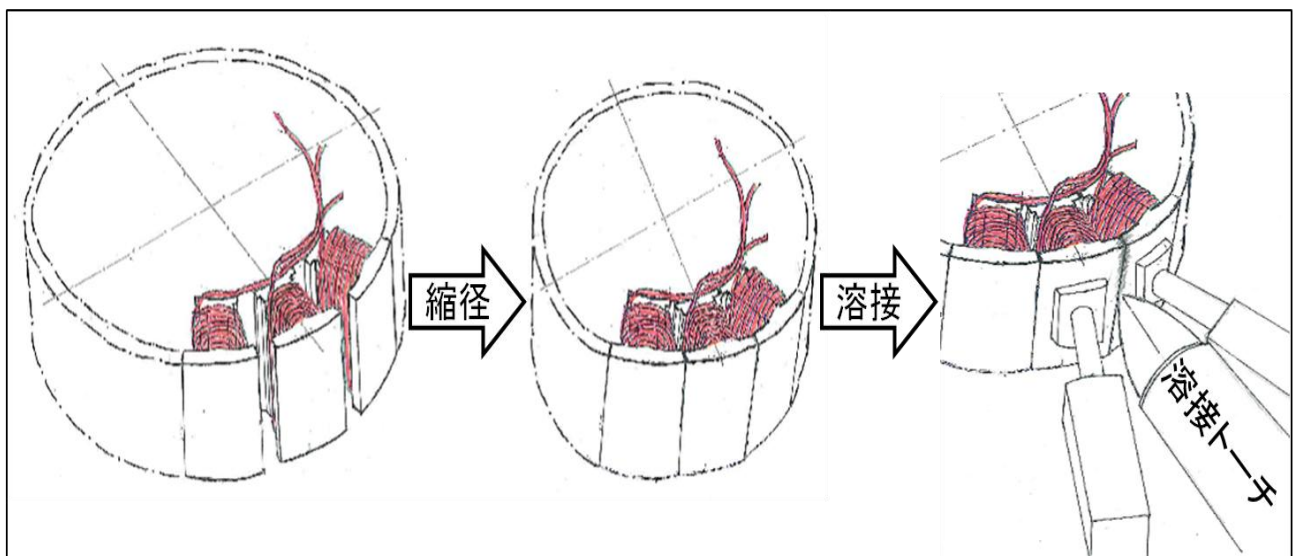


図 7 縮径して溶接する工程

3) 開発課題とサブテーマ

本開発における課題は、巻線速度の向上、分割コアの位置決め・保持機構と保持力、確実な縮径機構、信頼性の高い溶接機構が挙げられる。そこで以下のサブテーマについて研究を推進した。

【① 巻線機の高速度化、高精度化に関する検討】

【①-1 最適モーターの開発】

【①-2 コントローラーの処理能力の向上】

【①-3 巻線機の機械構造の耐加速度性の向上】

【② 分割コア連続巻線方式ステーター製造法に関する検討】

【②-1 分割コア巻線方式の実現】

【②-2 溶接工程の自動化】

【③ 試作機性能評価】

4) 研究開発の目標

【① 巻線機の高速度化、高精度化に関する検討】においては、

最適モーターの開発及び選定、コントローラーの処理能力の向上（巻線機制御における制御性、高速性の向上を図るソフトウェアの開発）、巻線機機械構造の耐加速度性の向上（軽量化、振動対策等）を実施することで、高精度な位置決めを確保しつつ、巻線機の高速度化 3 割アップを目指す。

【② 分割コア連続巻線方式ステーター製造法に関する検討】においては

分割コア巻線方式の実現（最適なコア形状及びインシュレーター形状の開発、分割コアの保持機構の開発、）溶接工程の自動化（分割コアの移し替え機構の開発、分割コアの縮径機構の開発）を実現することで、分割コア方式モーターのステーター製造法の生産効率アップを目指す

具体的には、200w サーボモーターステータの分割コア連続巻線方式による試作機の総合性能を、従来法と比べて以下のような目標値とした。

項 目	従 来 法	開 発 法
巻線時間※	5.5min	3min 以下
人手	1 人	0.2 人
コスト	100※※	60※※※

※：正確には巻線工程の、溶接・結線工程を含むステータ1 個当たりの製造時間を示す。

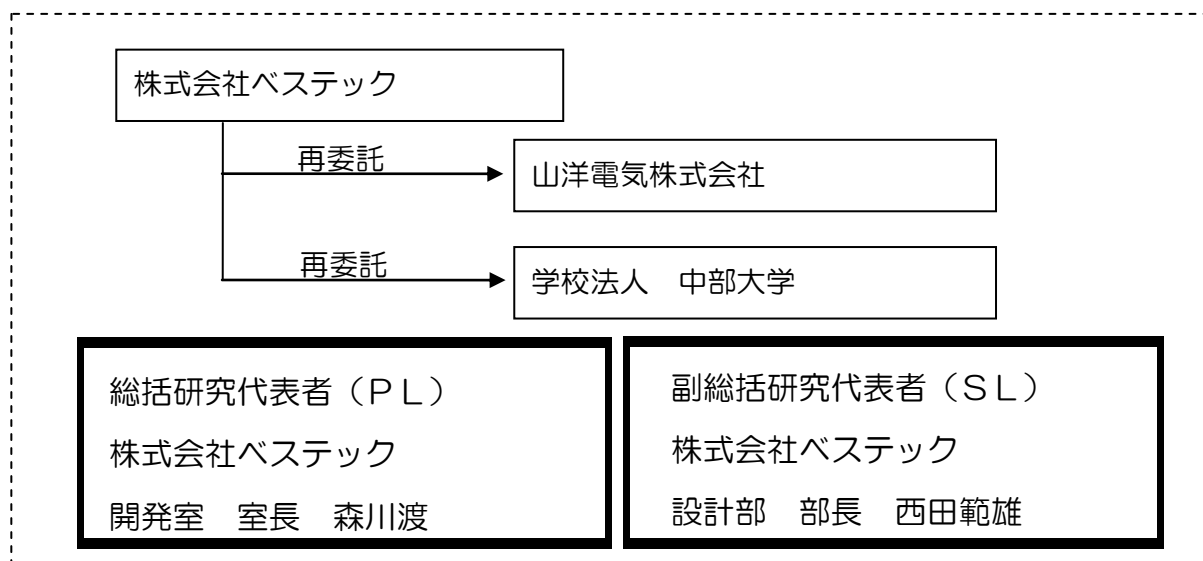
※※：従来の分割コア巻線式での巻線コストを 100 とする。

※※※：月間生産個数を 1 万台と仮定したものであり 1 万台以上ならさらに低い値が設定できる。

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

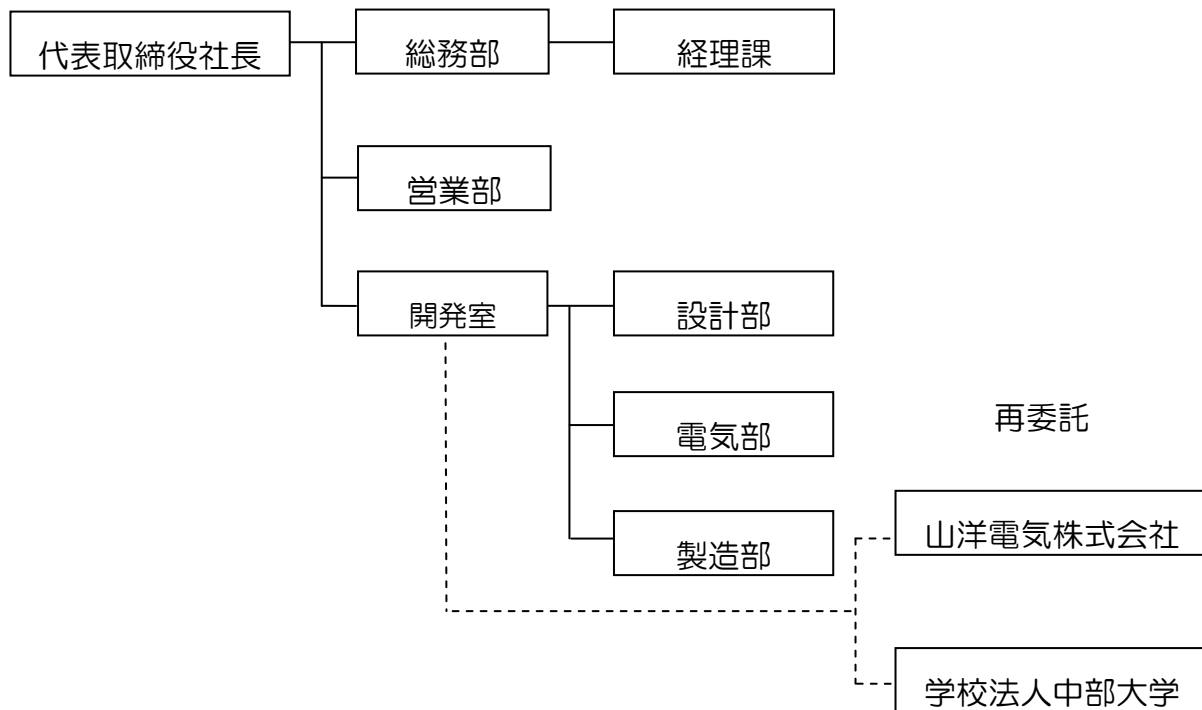
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

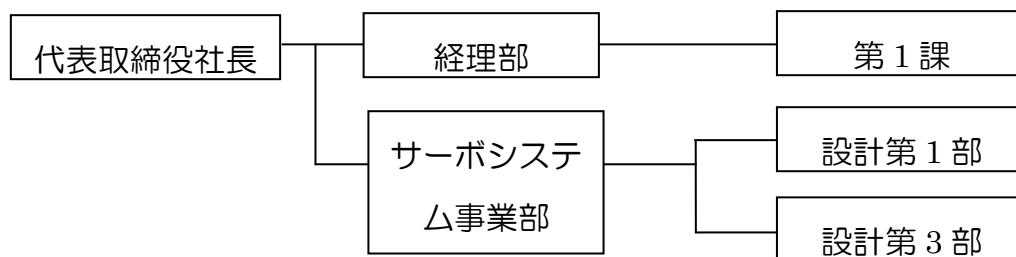
①事業管理機関

株式会社ベステック

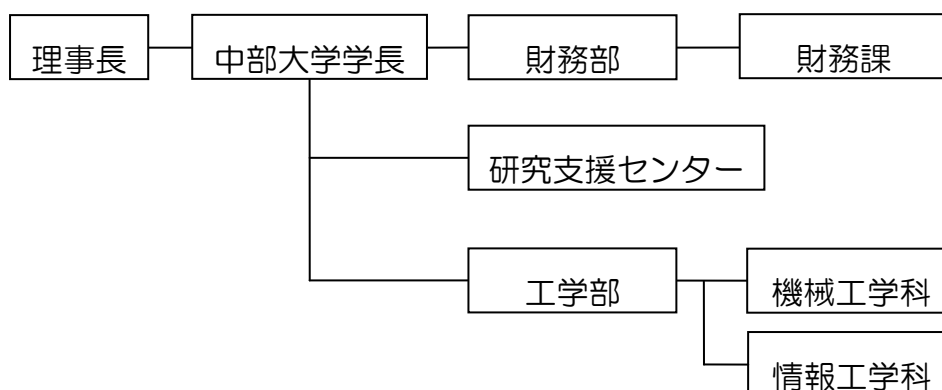


②再委託先

山洋電気株式会社



学校法人中部大学



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 株式会社バステック

管理員及び研究員

氏 名	所属・役職
森川 渡	開発室 室長
西田 範雄	設計部 部長
福谷 益宏	設計部 次長
鈴木 大輔	設計部 主任
遠藤 渉	製造部 部長 (工場長)
甲斐 裕典	製造部 次長 (工場長次長)
堀越 智貴	製造部 主任
小林 一行	電気部 主任
倉知 将志	電気部 次長
宅間 志野	営業部 管理担当
浅井 理恵	総務部 経理課
中島 優輔	電気部
矢倉 浩志	設計部
浅野 正樹	設計部
多田 匡志	製造部
佐藤 実	製造部
吉田 愛	総務部 経理課 経理担当
柳生 幸哉	電気部
伊藤 友二	電気部

【再委託先】 山洋電気株式会社

氏 名	所属・役職
清水明	サーボシステム事業部 設計第1部 主任技師
木村良則	サーボシステム事業部 設計第3部 主査

【再委託先】 学校法人中部大学

氏 名	所属・役職
吉田靖夫	工学部機械工学科 教授
川島信	工学部情報工学科 教授
木本博	研究支援センター 教授

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

株式会社ベステック

(経理担当者)	総務部 経理課 経理担当	吉田愛
(業務管理者)	開発室室長	森川渡

(再委託先)

山洋電気株式会社

(経理担当者)	経理部 第1課主任	館林雅英
(業務管理者)	サーボシステム事業部 設計第3部 主査	木村良則

学校法人中部大学

(経理担当者)	財務部 財務課長	岡畑満孝
(業務管理者)	研究支援センター課長	墨勝典

1-3 成果概要

① 巻線機の高速度、高精度化に関する検討

①-1 最適モーターの開発

①-1-1 最適モーターの開発

巻線速度の限界要因は、巻線機駆動モーターの特性に大きく依存する。株式会社ベステックは、既存モーターについて実効トルクや負荷イナーシャを詳細に調査・検討した結果、現行の巻線速度よりも3割早い速度で巻線できる可能性を確認していたので、新型ハイパフォーマンスモーターについても、当該検討結果に基づき山洋電気株式会社と共同開発した。

株式会社ベステックでは、当該新型モーターを、コア回転軸駆動用、ノズル上下軸駆動用として、分割コア連続巻線方式試作巻線機に搭載し、性能確認を行った。

①-1-2 最適モーターの選定

高速型試作巻線機に使用する全モーター及び分割コア連続巻線方式巻線機のコア回転駆動軸とノズル上下駆動軸以外のモーターは、山洋電気株式会社製のモーターの中から最適な容量、イナーシャ、トルク、センサーの組み合わせの選定を行った。

①-2 コントローラーの処理能力の向上

①-2-1 高速型試作巻線機の開発

図8は、ノズル・コア駆動型巻線機の動作説明図である。巻線機の高速度及び高精度化を同時に実現するためには、ノズルがコアの隙間を通過する際の両者の位置決めを高速で正確にコントロールすることが極めて重要である。

そのため山洋電気株式会社は、大容量CPU搭載のコントローラーとそのソフトウェアを開発し、それに伴う、コントローラーのCPU使用率の見極めとモーター電流の安定度および実行トルクの変化の確認を行った。

株式会社ベステックは当該コントローラーとそのソフトウェアの性能を検証するため、高速型試作巻線機を開発した。なお、当該コントローラーとそのソフトウェアは、後述する分割コア連続巻線方式試作巻線機にも搭載した。

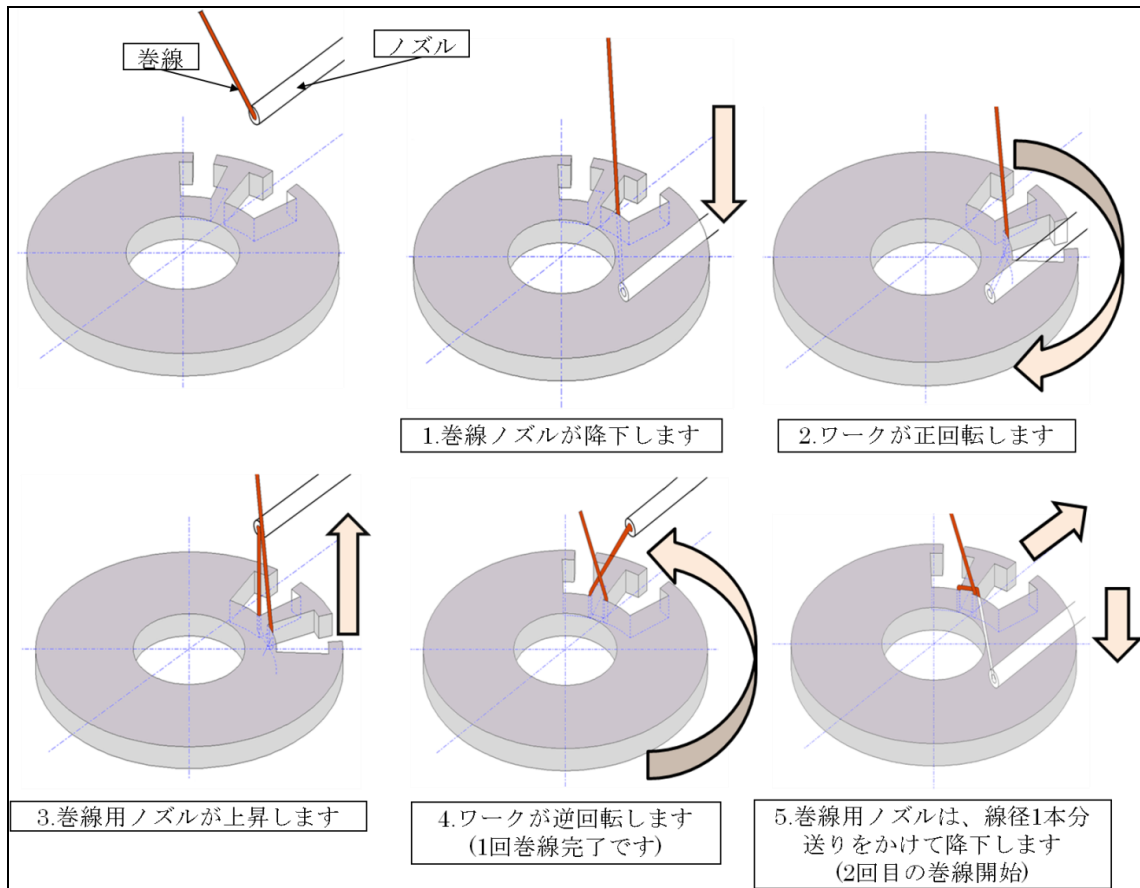


図 8 ノズル・コア駆動型巻線機の動作説明図

①ー2ー2 分割コア巻線機制御のソフトウェアの開発

従来のトラック軌跡巻線命令に対し、分割コア連続巻線方式用機能を追加した。また、従来は、回転軸に対してインクリメンタルセンサーのみが使用可能であったものをアブソセンサーも利用できるようにソフトウェアの設定方式を開発した。山洋電気(株)が担当した。

①－３ 巻線機の機械構造の耐加速度性の向上

①－３－１ 高速型試作巻線機の開発

株式会社ベステックは新型コントローラーとそのソフトウェアの性能を検証するため、高速型試作巻線機を開発した。（詳細は、第１章③－１項に記載）

①－３－２ 分割コア連続巻線方式試作巻線機の開発

株式会社ベステックは、分割コア連続巻線方式を実現するため、分割コア連続巻線方式試作巻線機、分割コアの保持機構を開発した。（詳細は、第１章③－２項に記載）

①－３－３ 動吸振器（巻線機の振動対策）の研究開発

学校法人中部大学工学部機械工学科吉田研究室では、巻線機の振動対策として動吸振器を試作し、実験・解析を行い、次の結果を得ることができた

- １）巻線機（振動体）に動吸振器を設置することにより共振を回避するパッシブコントロールができることを明らかにした。
- ２）動吸振器磁石による磁界は、振動を抑えるダンパーとして作用する可能性があることが確認できた。
- ３）コイル電流による電磁力をフィードバックに利用したアクティブコントロールにより、さらに有効な防振作用が期待される。

② 分割コア連続巻線方式ステーター製造法に関する検討

②－１ 分割コア巻線方式の実現

②－１－１ 分割コアの開発

分割コア連続巻線方式製造法を実現するため、山洋電気株式会社が製造している数あるサーボモーターの中から、ひとつのモーターの製造法を選定した。そのモーターの製造法は、既に分割コア式であるが、その生産効率の悪い点の改善を強く求められていた製品のひとつである。

山洋電気株式会社では、従来の分割コアを、連続巻線方式で巻線できるようにするために、コア形状とインシュレーター形状を改造することで、新型分割コアの試作品を開発した。完成したステーターの解析では、電磁気回路において従来品と遜色ない性

能が発揮可能であることが確認できた。

今後、山洋電気株式会社では、分割コア連続巻線方式を本格的に採用するためにモーター設計の全面的見直しに取り組み、本格的量産化を目指す。

②-1-2 分割コア連続巻線方式試作巻線機の開発

株式会社ベステックは、分割コア連続巻線方式を実現するため、分割コア連続巻線方式試作巻線機、分割コアの保持機構を開発した。（詳細は、第1章③-2項に記載）

②-2 溶接工程の自動化

②-2-1 分割コア連続巻線方式試作溶接機の開発

株式会社ベステックは、分割コア連続巻線方式を実現するため、分割コア連続巻線方式試作溶接機を開発した。（詳細は、第1章③-3項に記載）

②-2-2 真円度測定についての研究開発

本研究開発である分割コア式のステーター製造法においては、一体コア式に比べ、従来から溶接後の真円度（精度）の確保が課題となっている。

一般的に、モーターはステーター（固定子）の内径に、ローター（回転子）が入る構造である。ステーター（固定子）とローター（回転子）の間には、わずかな隙間があり、この隙間がより小さいこと、より均一なことが特性の良いモーターの条件になっている。

株式会社ベステックでは、溶接後の真円度は、分割コア個々の内径Rの精度と、溶接治具の真円度、各分割コアの押さえ方、押圧力とさまざまな条件が微妙に影響していることがおおよそ確認できている。

学校法人中部大学工学部情報工学科川島研究室は、比較的シンプルな構造（安価）で、しかも正確に、円筒体内壁面の測定できる真円度測定装置とそのシステムを試作し、光計測法による真円度測定法を研究開発した。結果これにより、比較的小径であるモーターのステーターの内径（例えばφ43）でも真円度測定ができることが確認できた。

③ 試作機性能評価

③-1 高速型試作巻線機の開発

株式会社ベステックは新型コントローラーとそのソフトウェアの性能を検証するため、高速型試作巻線機を開発した。

高速型試作巻線機では、最適モーターの選定（最適なノズル上下用モーターの選定）、新型コントローラーの搭載、ノズル駆動部の軽量化（ノズル機構の軽量化の実施）等を実施した結果、従来比約1.6倍の巻線速度の高速化が達成できた。

③-2 分割コア連続巻線方式試作巻線機の開発

株式会社ベステックは、分割コア連続巻線方式を実現するため、分割コア連続巻線方式試作巻線機、分割コアの保持機構（保持治具）、を開発した。

ここで対象にする分割コアは、出力 200w のモーター用ステーター（外形φ70×内径φ43×積圧 15.2mm の大きさ）であり、12 極それぞれに線を巻線する仕様である。

山洋電気株式会社で開発した分割コアの試作品を、分割コアの保持機構に保持させ、分割コア連続巻線方式試作巻線機にて連続巻線できることを確認した。

結果、分割コア連続巻線方式試作巻線機について、当社従来比約1.2倍の巻線速度の高速化が達成できたが、今後さらなる回転数UPをめざし、検証する予定である。新型ハイパフォーマンスモーター搭載による効果が思ったより小さかったのが、残念であるが、今後、いろいろなコアを対象に検証を続け、さらなる高速化を目指す。

そして、今後、株式会社ベステックでは、あらゆる種類、サイズのモーターで、分割コアの連続巻線を試作実験することで技術を蓄積し、分割コア連続巻線方式巻線機の商品を目指す

③-3 分割コア連続巻線方式試作溶接機の開発

株式会社ベステックは、分割コア連続巻線方式を実現するため、分割コア連続巻線方式試作溶接機を開発した。

具体的には、巻線工程後の溶接工程で自動化を達成するために、巻線機の分割コア保持機構から溶接機へ分割コアを一斉に移し替える方法、分割コアの縮径方法、縮径装置を開発した。 分割コア連続方式試作巻線機で連続巻線された分割コアは、分割コ

ア保持治具毎巻線機から取り出され、そのまま溶接機に挿入される。そして、一斉に縮径後溶接される。本工程に要した時間は、1 個当たり約 85 秒であった。今回、採用した溶接方法は、TIG 溶接であるが、溶接強度の観点から、レーザー溶接等も検討する必要がある。今後、株式会社ベストックでは、あらゆる種類、サイズのモーターで、を試作実験することで、技術を蓄積し、分割コア連続巻線方式溶接機の商品化を目指す。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

(フリガナ)：モリカワワタル

氏名：森川渡

所属組織名：株式会社ベストック

所属役職：開発室室長

Tel：0568-92-5238

Fax：0568-92-6059

E-mail：w-morikawa@bestec-web.co.jp

第2章 本論

2-1 研究内容及び成果

① 巻線機の高速度、高精度化に関する検討

①-1 最適モーターの開発

①-1-1 使用モーターの選定

巻線速度の限界要因は、巻線機駆動モーターの特性に大きく依存する。株式会社ベステックは、既存モーターについて実効トルクや負荷イナーシャを詳細に調査・検討した結果、現行の巻線速度よりも3割早い速度で巻線できる可能性を確認していたので、新型ハイパフォーマンスマーターについても、当該検討結果に基づき山洋電気株式会社と共同開発した。株式会社ベステックでは、当該新型モーターを、コア回転軸駆動用、ノズル上下軸駆動用として、分割コア連続巻線方式試作巻線機に搭載し、性能確認を行った。

①-2 コントローラーの処理能力の向上

①-2-1 高速型試作巻線機の開発

株式会社ベステックは新型コントローラーとそのソフトウェアの性能を検証するため、高速型試作巻線機を開発した。（詳細は、第2章③-1に記載）

①-2-2 分割コア巻線機制御のソフトウェアの開発

分割コア巻線機制御用に次のソフトウェアを開発した。一つは、本研究対象のコアへ巻線を行うための動作軌跡演算ルーチンの機能向上処理を行った。

本研究対象のコアへ巻線を行うには、巻線ノズルの動作軌跡をトラック状（直線と円弧の組み合わせ）に動かす必要がある。円弧部分の軌跡は、直線の連続をつなぎ合わせることで実現している。（超正多角形）この直線距離を際限まで細かくすれば正確な円を描くことが可能であるが、演算に要する時間が膨大となり機械全体のタクトタイムに影響を及ぼしてしまう。そのため、それぞれのコア形状と巻線速度に最適な円弧軌跡が実現できるように、円弧部直線距離を可変可能な機能を開発した。

①ー3 巻線機の機械構造の耐加速度性の向上

①ー3ー1 高速型試作巻線機の開発

株式会社ベステックは新型コントローラーとそのソフトウェアの性能を検証するため、高速型試作巻線機を開発した。（詳細は、第2章③ー1に記載）

①ー3ー2 分割コア連続巻線方式試作巻線機の開発

株式会社ベステックは、分割コア連続巻線方式を実現するため、分割コア連続巻線方式試作巻線機、分割コアの保持機構を開発した。（詳細は、第2章③ー2項に記載）

② 分割コア連続巻線方式ステーター製造法に関する検討

②ー1 分割コア巻線方式の実現

②ー1ー1 分割コアの開発

分割コア連続巻線方式製造法を実現するため、山洋電気株式会社製の数あるサーボモーターのラインナップの中から、あるモーターを選定した。そのモーターは、既に分割コア式で製造されているが、その生産効率の悪い点の改善を強く求められていた製品のひとつである。

山洋電気株式会社では、従来の分割コアを、連続巻線方式で巻線できるようにするために、コア形状とインシュレーター形状を改造することで、新型分割コアの試作品を開発した。完成したステーターの解析では、電磁気回路において従来品と遜色ない性能が発揮可能であることが確認できた。

②ー1ー2 分割コア連続巻線方式試作巻線機の開発

株式会社ベステックは、分割コア連続巻線方式を実現するため、分割コア連続巻線方式試作巻線機、分割コアの保持機構、を開発した。（詳細は、第2章③ー2項に記載）

②ー2 溶接工程の自動化

②ー2ー1 分割コア連続巻線方式試作溶接機の開発

株式会社ベステックは、分割コア連続巻線方式を実現するため、分割コア連続巻線方式試作溶接機を開発した。（詳細は、第2章③ー3項に記載）

③ 試作性能評価

③ー1 高速型試作巻線機の開発

株式会社ベステックは新型コントローラーとそのソフトウェアの性能を検証するため、図9のような高速型試作巻線機を開発した。

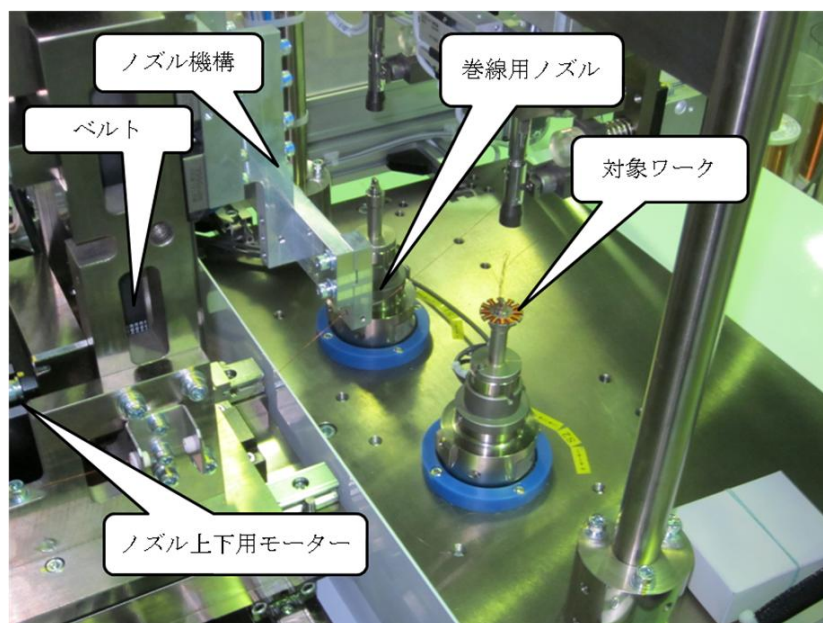


図 9 高速型試作巻線機

対象にしたコアは、アウトローター型の小型モーター（外径φ25mm、厚み 2mm、極数 9 極）で、φ0.25mmの線を 32 回巻線する仕様である。この仕様は過去に従来機で巻線した実績のあるもので、従来機での巻線速度は、Max900rpm であった。

開発した高速型試作巻線機では、最適モーターの選定（最適なノズル上下用モーターの選定）、新型コントローラーの搭載、ノズル駆動部の軽量化（ノズル機構の軽量化の実施）、低イナーシャ化を実施した結果、巻線速度 1500rpm まで上がり、従来比約 1.6 倍の巻線速度の高速化が達成できた。

その内、コントローラーの処理能力向上による割合は 50%である。残りの 10%は、巻線機の機械構造の耐加速度性の向上によるものとする。

③ー2 分割コア連続巻線方式試作巻線機の開発

株式会社ベステックは、分割コア連続巻線方式を実現するため、分割コア連続巻線方式試作巻線機、分割コアの保持機構（保持治具）、を開発した。

ここで対象にする分割コアは、出力 200w のモーター用ステーター（外形 $\phi 70\times$ 内径 $\phi 43\times$ 積圧 15.2mm の大きさ）であり、12 極それぞれに線を巻線する仕様である。

山洋電気株式会社で、開発した分割コアの試作品を分割コアの保持機構（図 1 1 参照）に保持させ、分割コア連続巻線方式試作巻線機（図 1 0 参照）にて連続巻線できることを確認した。



図 10 分割コア連続巻線方式試作巻線機

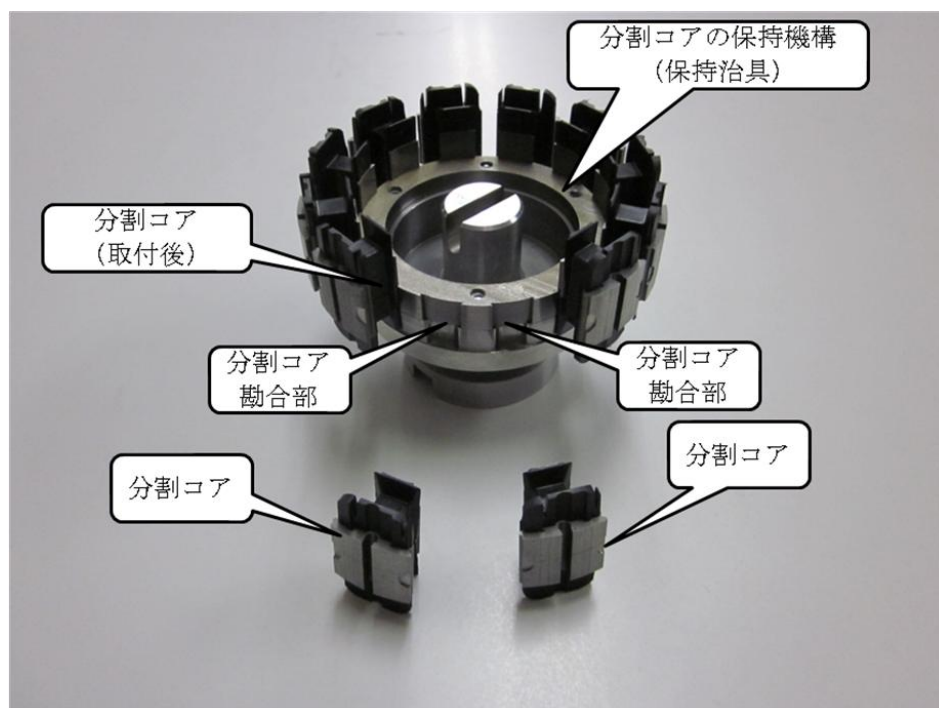


図 11 分割コアの保持機構（保持治具）

今回は、分割コアは、保持機構（保持治具）に手作業で挿入した。そして12個の分割コアを装着した保持治具は、そのまま巻線機に投入し、連続巻線をする。図12は、分割コア1個分の巻線が完了したところである。

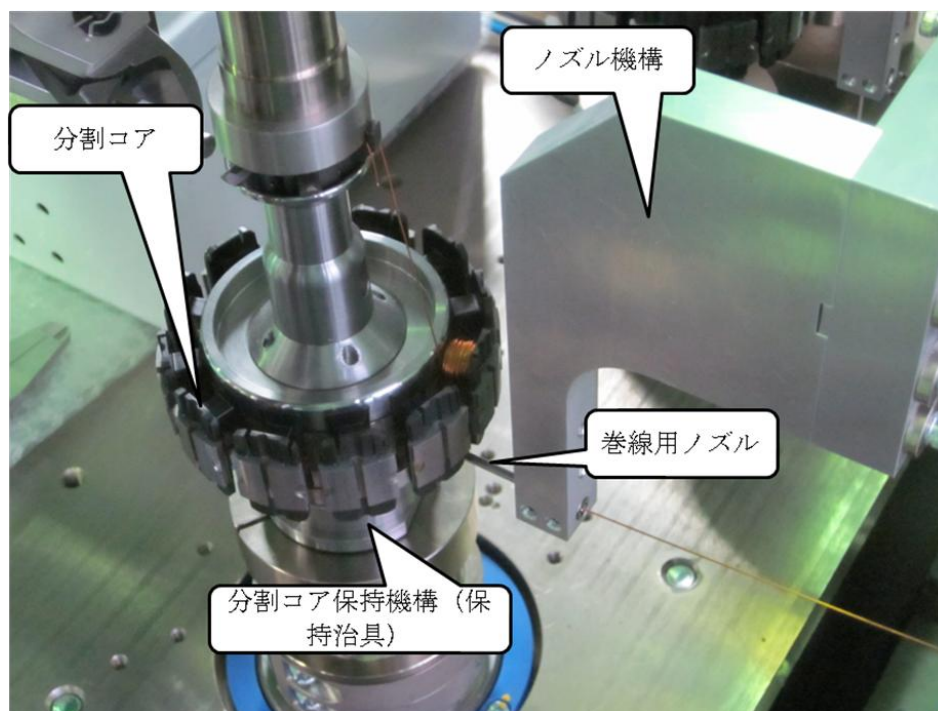


図 12 分割コアの連続巻線（1極巻線後）

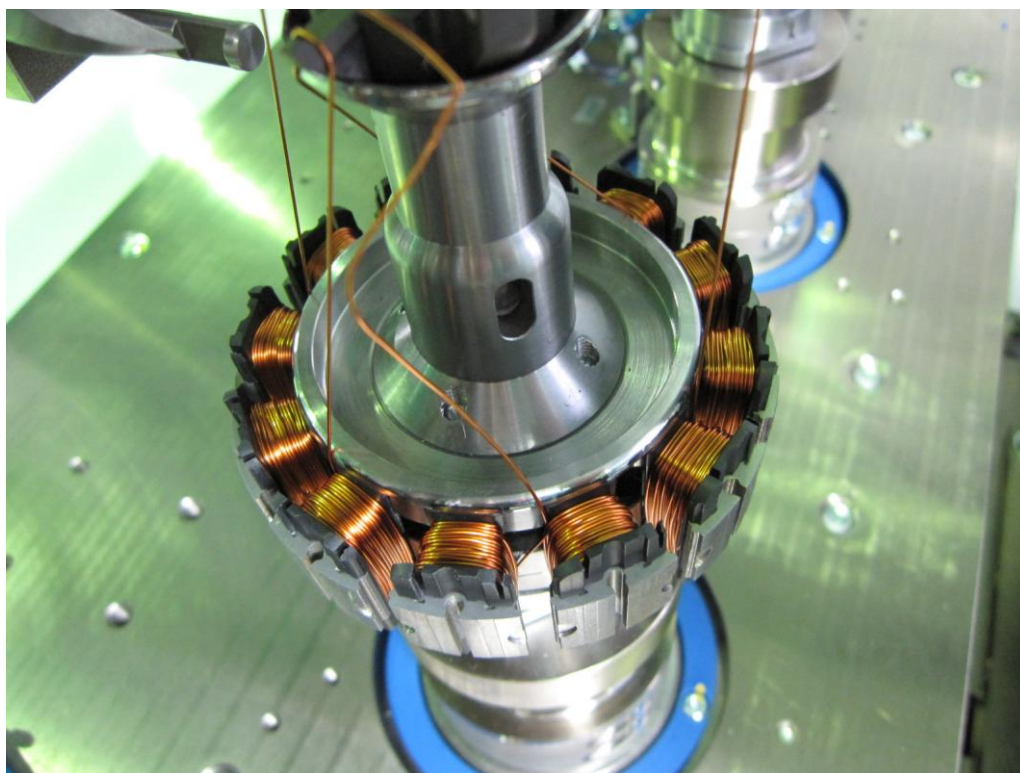


図 13 分割コアの連続巻線完了

その後、分割コアは連続で巻線され（図13）、3本の巻始め線、3本の巻終り線で構成される。

図14は、今回対象モーターそのものずばりの巻線パターンのものではないが、連続巻線の巻線パターンの概念図を示す。巻始め線3本、巻終り線3本の他は、渡り線で形成されている。

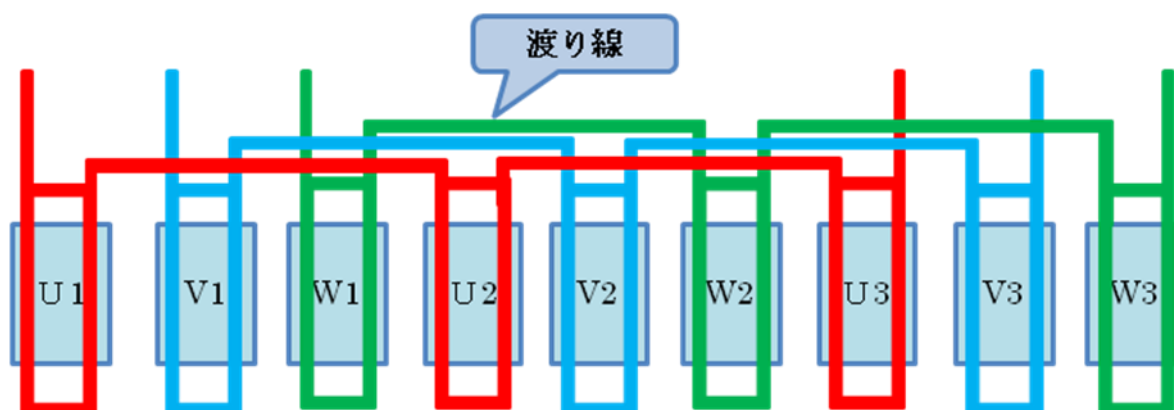


図 14 巻線パターンの概念図

【分割コア連続巻線の高速化について】

最適モーターの搭載（新型ハイパフォーマンスモーターを、コア回転軸駆動用、ノズル上下軸駆動用として搭載したこと）、新型コントローラーの搭載、ノズル駆動部の低イナーシャ化を実施した結果、巻線速度500rpmで巻線できた。当社従来比約1.2倍の巻線速度の高速化である。表10には巻線速度と今回のタクト表を記載する

	コントローラー	巻線速度（回転数）	巻線のみ時間	巻線時間（巻線以外の時間も含む）
分割コア連続巻線方式試作巻線機	新型	500rpm	111.0sec	136.0sec ※1

表 1 巻線速度とタクト表

※1.開発した巻線機は、2 連式であるので、1 個当たりの巻線時間は、 $136/2=68\text{sec}$ となる。

分割コア連続巻線方式試作巻線機について、当社従来比約1.2倍の巻線速度の高速化が達成できたが、今後さらなる回転数UPをめざし、検証する予定である。そして、今後、株式会社バステックでは、あらゆる種類、サイズのモーターで、分割コアの連続巻線を試作実験することで技術を蓄積し、分割コア連続巻線方式巻線機の商品を目指す

③ー3 分割コア連続巻線方式試作溶接機の開発

株式会社ベステックは、分割コア連続巻線方式を実現するため、分割コア連続巻線方式試作溶接機（図 1 5 参照）を開発した。

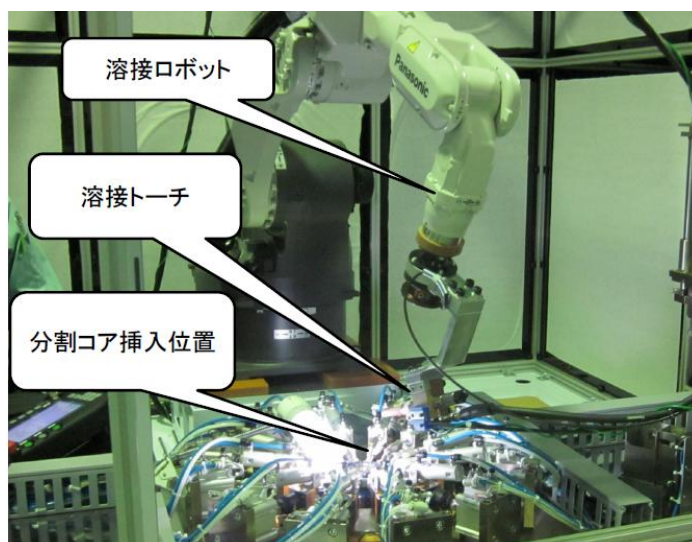


図 15 分割コア連続巻線方式試作溶接機

具体的には、巻線工程後の溶接工程で自動化を達成するために、巻線機の分割コア保持機構から溶接機へ分割コアを一斉に移し替える方法、分割コアの縮径方法、縮径装置を開発した。図 1 6 のように 分割コア連続方式試作巻線機で連続巻線された分割コアは、分割コア保持治具毎巻線機から取り出され、そのまま溶接機に挿入される。（図 1 7 参照）そして、一斉に縮径後溶接される。本工程で要した時間は、約 85 秒であった

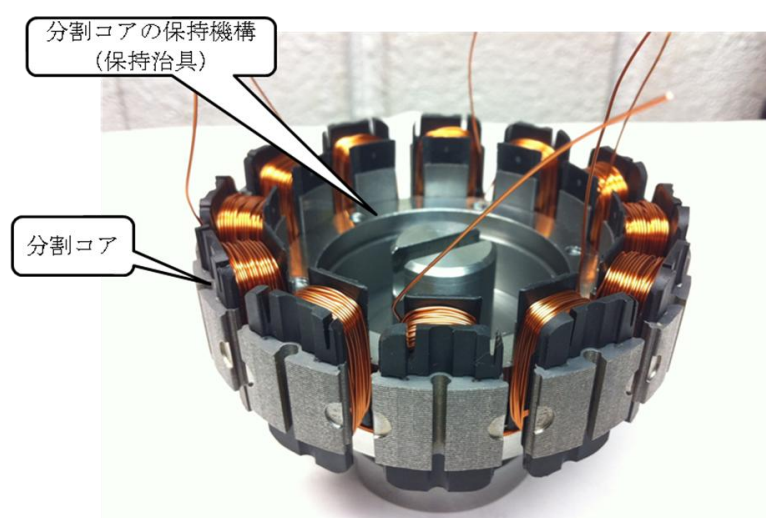


図 16 分割コアの保持治具（巻線工程後）

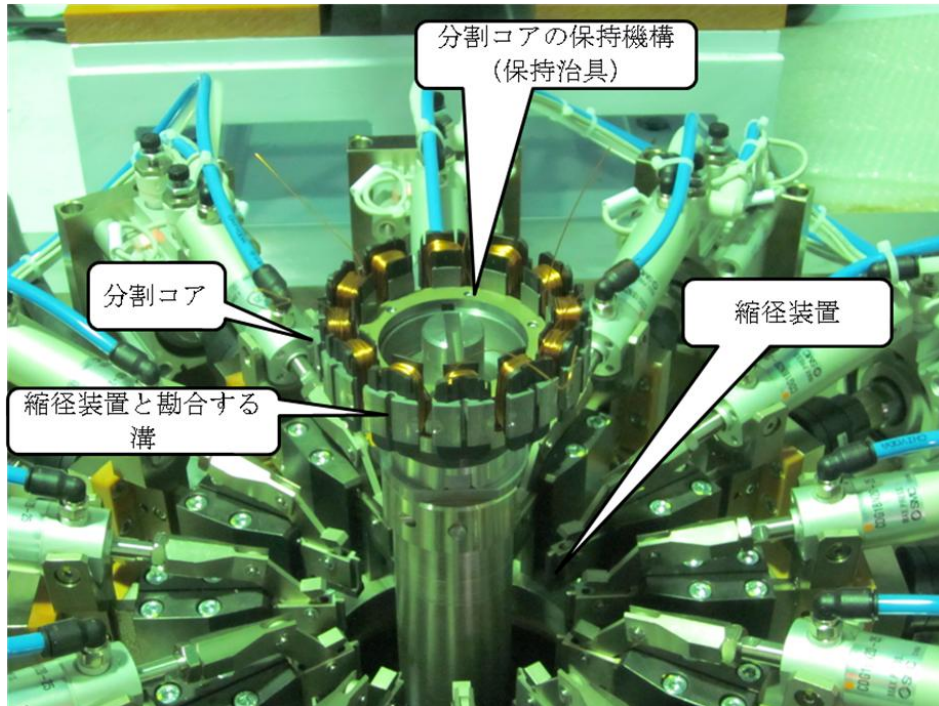


図 17 縮径装置（分割コア保持治具投入時）

溶接機は、分割コアを保持治具毎引き込み、分割コアに設けられた勘合部が縮径装置の先端と勘合される。そして巻線機の保持治具は自動で抜き取られる（図18参照）

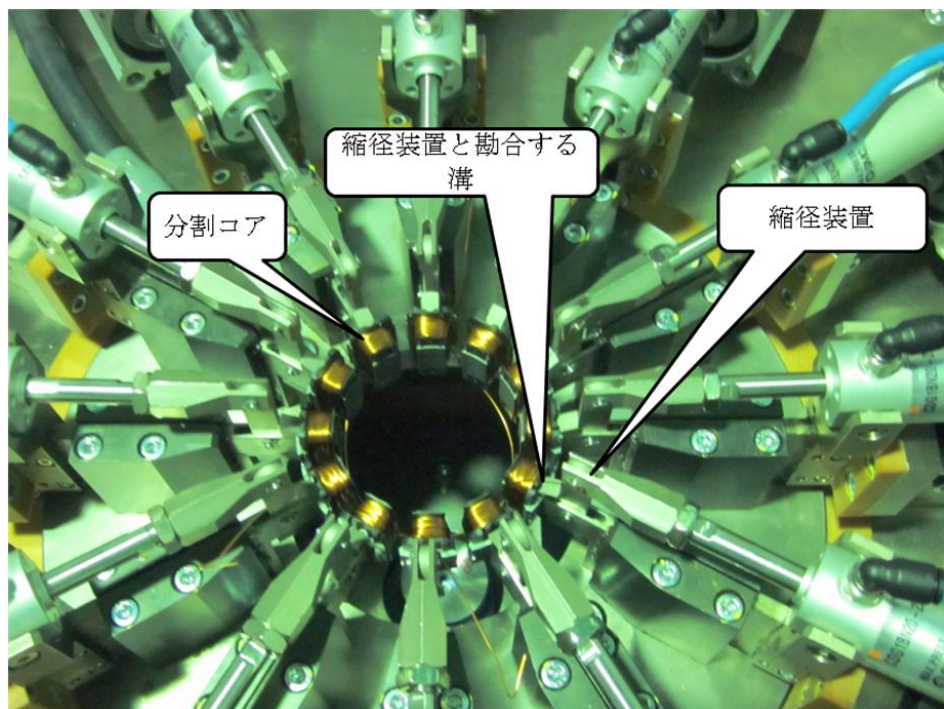


図 18 縮径装置（分割コアの移し替え）

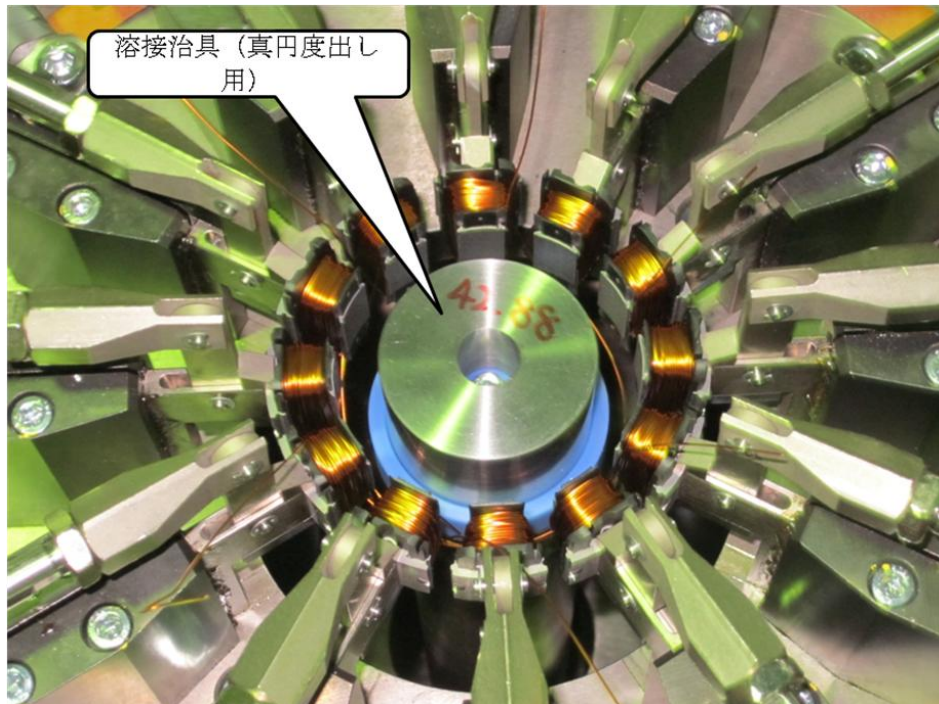


図 19 縮径装置（溶接治具挿入）

その後、溶接治具が自動で挿入される（図19）これは、溶接後に完成するステータの内径真円度の精度をだすためのゲージである。そして、分割コアは一斉に縮径される。（図20）

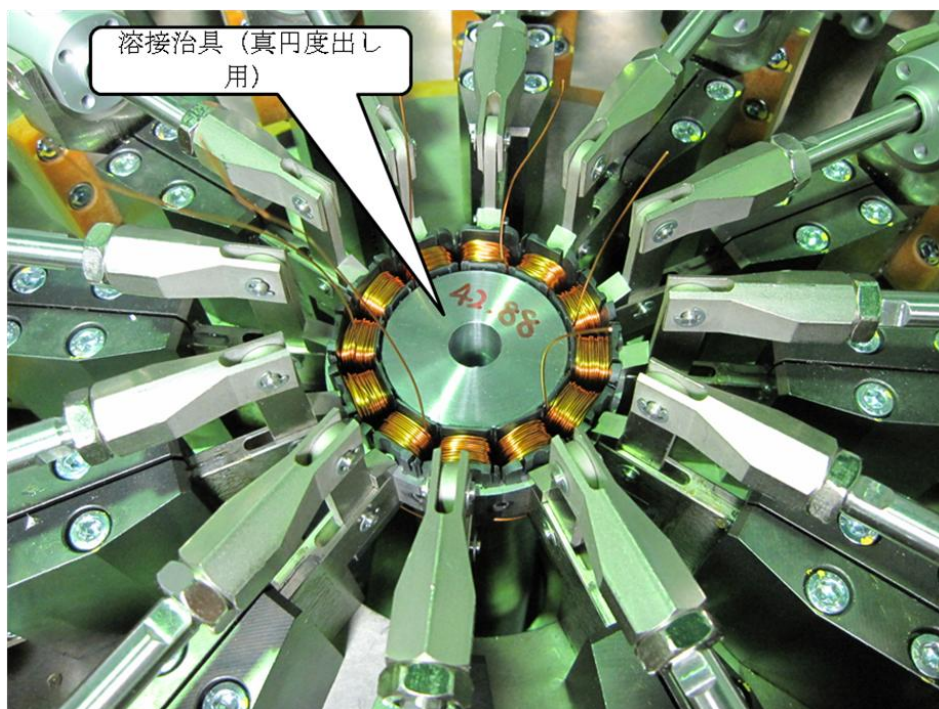


図 20 縮径装置（縮径後）

その後、各分割コアは、シリンダの力で押えられたまま溶接ロボットで溶接される。

(図21参照)

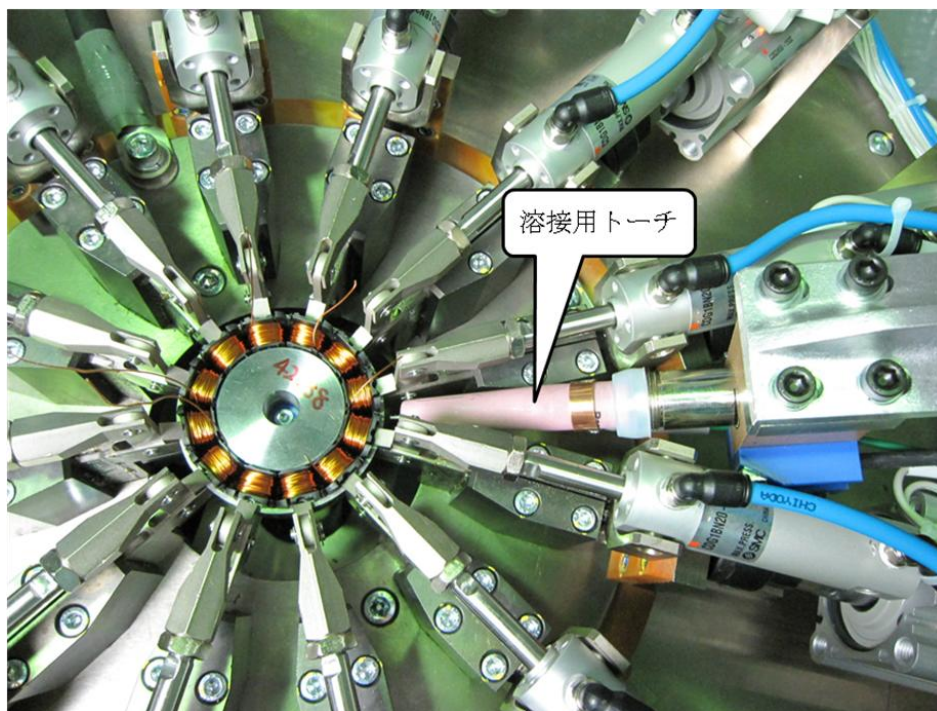


図 21 縮径後、溶接する工程

タクト（時間）	分割コアの移し替え	分割コア溶接（12か所）	トータル時間
分割コア連続巻線方式試作溶接機	5.0sec	80sec	85sec

表 2 分割コア用溶接機のタクト表

表12は、今回の溶接にかかった時間を示す。

③ー4 分割コア連続巻線方式による高性能モーターの開発

本研究開発では、株式会社ベステックと山洋電気株式会社が開発した分割コア連続巻線方式によるステーターの製造装置（巻線機と溶接機）の試作機で、山洋電気株式会社が主体となり、高性能モーターの試作品を開発した。

【分割コア連続巻線方式によるステーターの製造装置】

この高性能モーターの試作品の製造工程を製造効率向上の観点から説明する



図 22 対象モーター

図 2 2は今回の研究開発の対象モーターである。前述したとおり、本モーターは、既に分割コア式で製造されているものである。しかしその製造工程にかかる時間は1個当たり5.5分かかっていた。

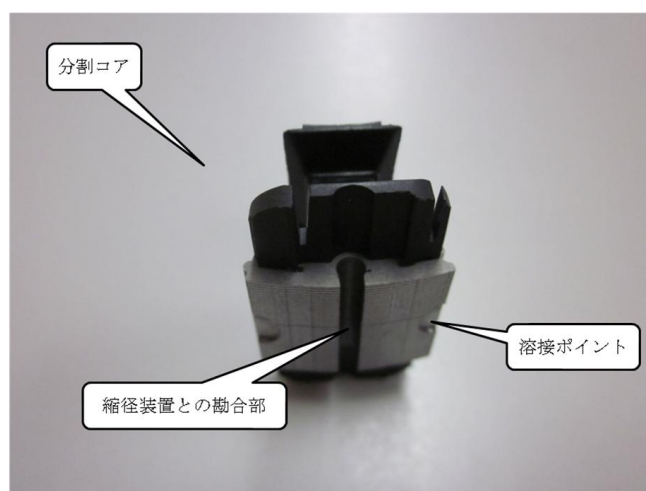


図 23 対象モーターの分割コア

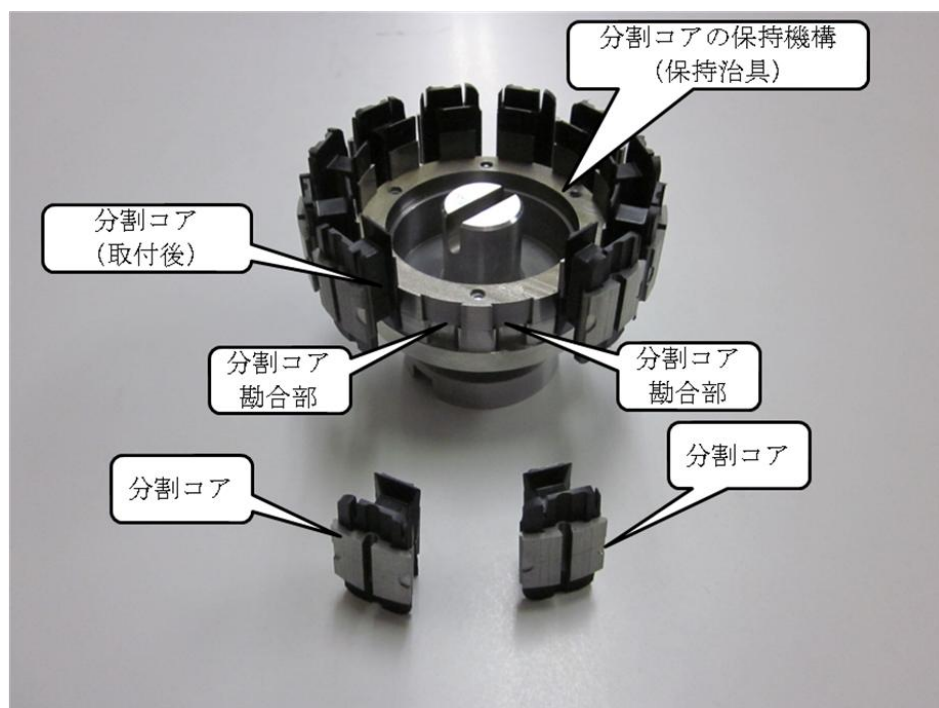


図 24 分割コアを保持治具に装着

本研究開発においては、分割コア保持治具に分割コアは手作業にて装着した（図 24）そして、巻線工程では、効率約 1.2 倍の 68sec で、巻線できた。（図 25）

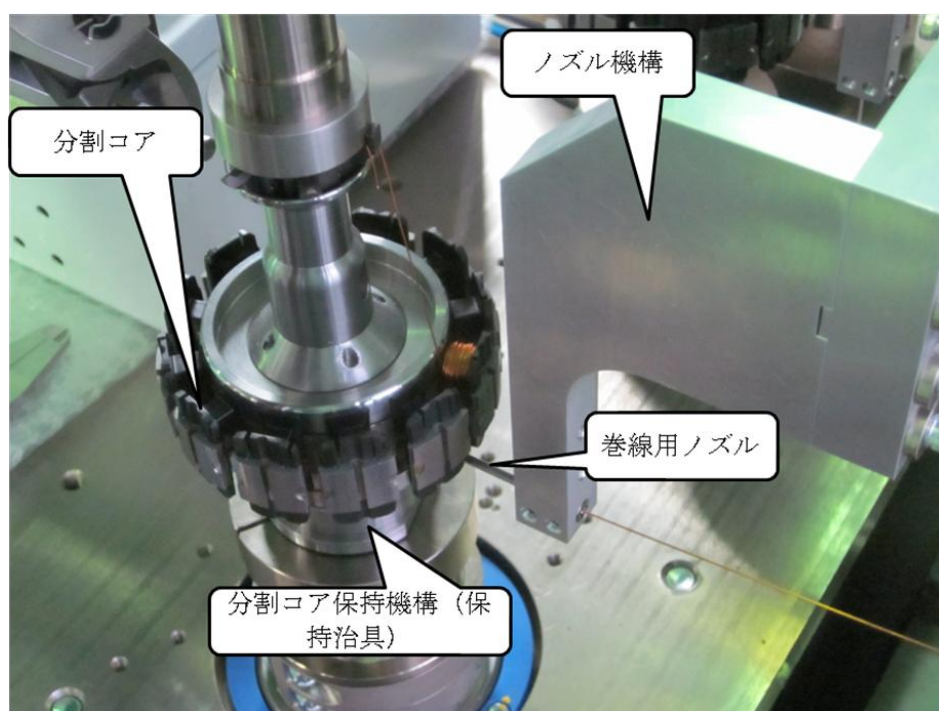


図 25 巻線工程

本巻線方式の特徴であるが、連続巻線で形成された渡り線は、ステーターの内側に形成される。(図26) このようなステーターは、モーターの小型化に直接つながり、しかも世界初である。波及することに期待したい。

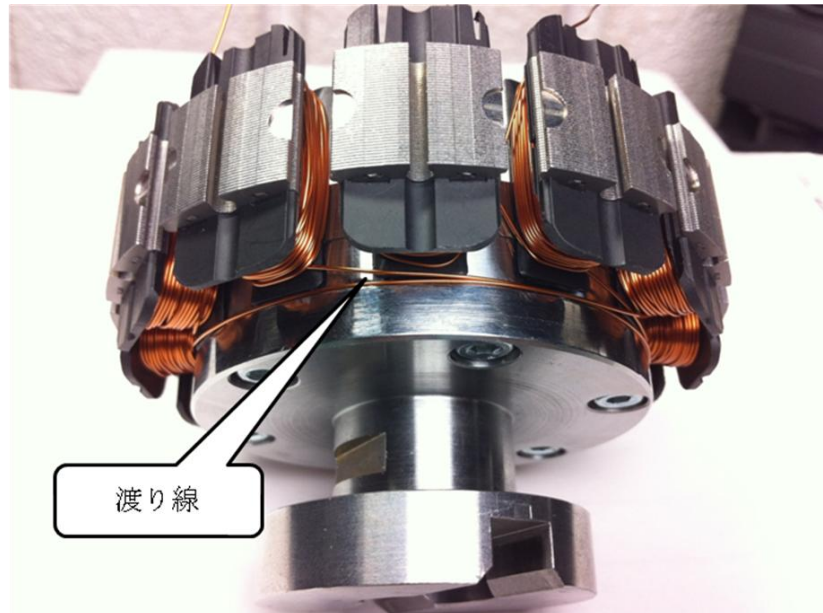


図 26 分割コア連続巻線（渡り線）

そして、分割コアの移し替え工程では、保持治具每一斉に移し替える。約 5sec で移し替えができた。(図27)

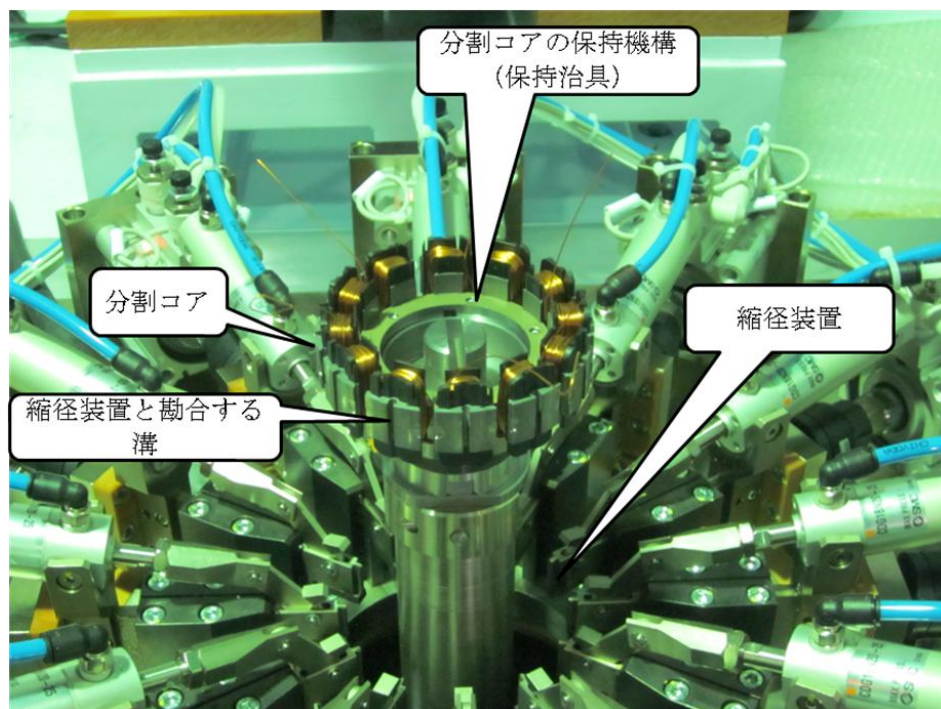


図 27 分割コアの移し替え工程

図28～図29は、溶接機における縮径工程から溶接工程である。この工程で要した時間は約80secである。

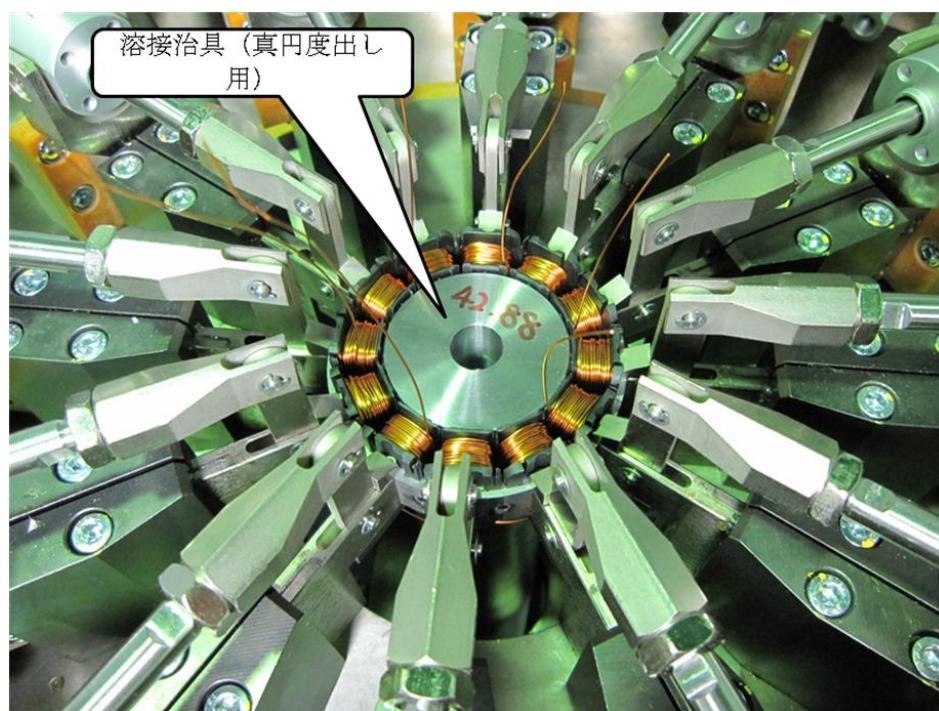


図 28 縮径工程

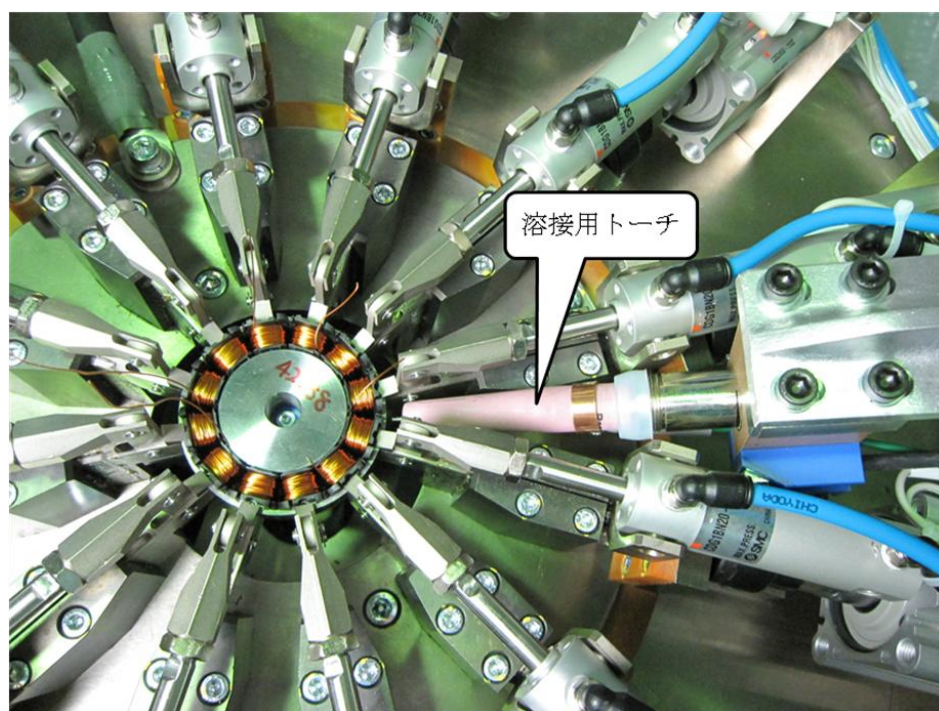


図 29 溶接工程

図30～図31は、結線工程である。本研究開発では、結線工程は手作業にておこなったが、図30のように分割コア連続巻線方式では、端末線は6本しか出てこない残りは、渡り線として形成される。図31が基板に半田付けをした写真であるが、半田する場所は、24か所ある。図32は、開発品に半田付けした写真であるが、赤丸部分は半田付けをしなくても良い部分になる。つまり、結線工程において、従来の製造方法では、24か所半田付けしなくてはならなかったが、開発品では、6本だけ半田付けをすればよいことになった。その作業効率が改善されたのは明らかである。従来品では、80sec かかっていたので、開発品では、その1/4の20sec でできることになる。

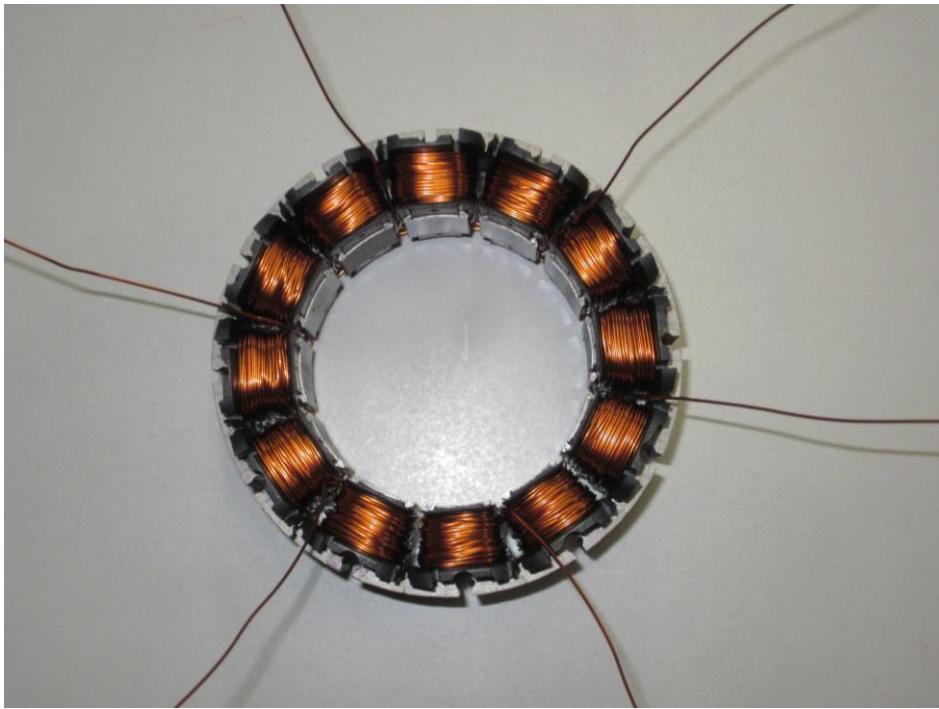


図 30 結線工程

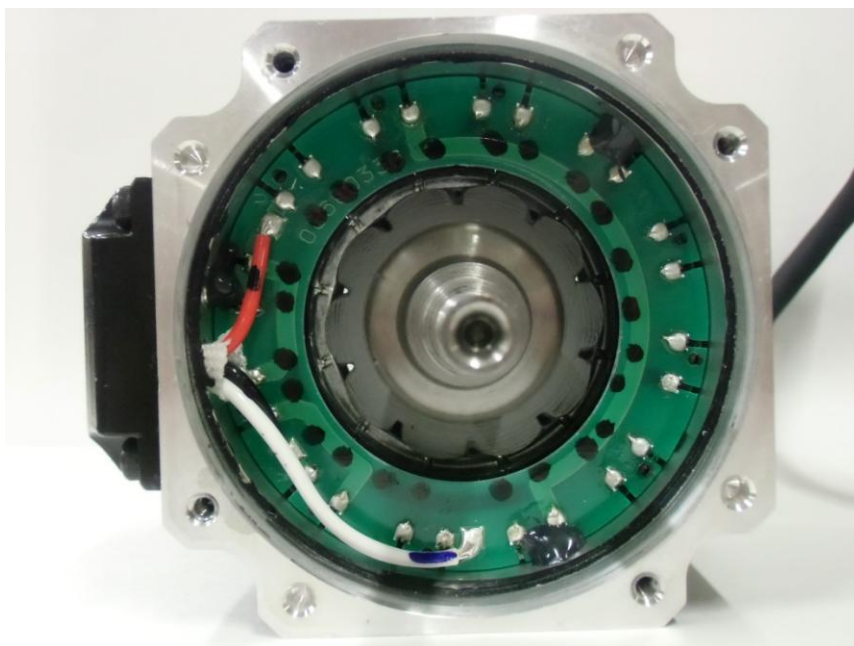


図 31 結線工程（従来品）

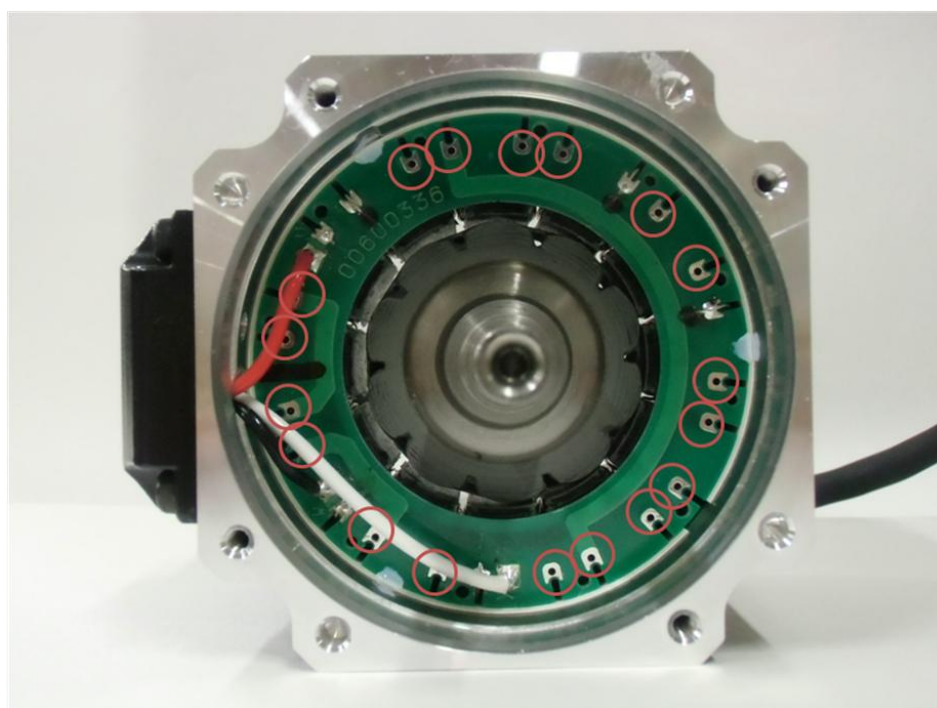


図 32 結線工程（開発品）

巻線工程	移し替え工程	溶接工程	結線工程	合計時間
68sec	5sec	80sec	20sec	173sec

表 3 分割コア連続巻線方式で製造にかかる時間

表3は、分割コア連続巻線方式で製造にかかる時間を表した表であるが、従来品で約5.5分(330sec)かかっていた製造工程が、本研究開発では、約173secとなり、約2倍の生産効率向上が確立されたこととなった。

【高性能モーターの試作品の特性評価】

コア形状変更については、磁気回路上影響の少ない範囲での変更を行なったが、実際にモーターとして組立て、単体特性の測定を行なった。他のファクターの影響を小さくするために、ロータマグネットは共通として変化の有無を確認した。測定結果は従来巻線方式とほぼ同等の結果が得られた。

【結論】

本研究開発の分割コア連続巻線方式による高性能モーター用ステーター製造法によると、当該製造法で製造されるモーターは、従来の製造法で製造されたモーターと同レベルの特性を維持しつつ、生産性は、2倍の効率向上が確認されたのである。

第3章 全体総括

3-1 研究開発成果

【① 巻線機的高速化、高精度化に関する検討】

開発した新型ハイパフォーマンスモーターについては、巻線機的高速化に対して、一定の効果があつた。(高速化約1割向上)

開発した新型コントローラーとそのソフトについては、巻線機的高速化において、かなりの効果があつた。(高速化約5割向上)

ノズル機構の最適設計等により、一定の効果があつた。(高速化約1割向上)

【② 分割コア連続巻線方式ステーター製造法に関する検討】

分割コア連続巻線方式試作巻線機と分割コア連続巻線方式試作溶接機を開発し、分割コア式モーター（ステーター）の試作品も開発した。モーターの試作品については、従来品と同等の特性が得られた上に、生産効率はかなりの効果があつた。(生産効率2倍)

3-2 研究開発後の課題・事業化展開

【① 巻線機的高速化、高精度化に関する検討】

開発した高速型試作巻線機では、新型コントローラーとそのソフト開発により、高速化5割向上という大変うれしい効果があつた。この巻線機は、世界最速である。すぐにでも商品化し、まずは、従来の顧客にPRする。

開発した新型ハイパフォーマンスモーターについては、今後、原因を追究し、また、あらゆるサイズのコアの試作巻線をすることで、技術を蓄積し、さらなる高速化、高精度化を目指していきたい。

【② 分割コア連続巻線方式ステーター製造法に関する検討】

開発した分割コア式モーター（ステーター）の試作品では、従来品と同等の特性が得られた上に、生産効率はかなりの効果があつた(生産効率2倍)さらに、株式会社ベステックでは、開発した分割コア連続巻線方式試作巻線機と分割コア連続巻線方式試作溶接機を使用し、あらゆるサイズのコア（モーター）の試作にチャレンジする。そ

して、技術を蓄積し、標準化を推進し、技術的にもコスト的にも、他社に負けない商品づくりをしていく。

また、山洋電気株式会社では、分割コア式モーター（ステーター）の試作品の開発に一定のめどが立ったことで、今後、当該モーターにおいて、全面的に設計を見直し、本格的量産化を目指す。

このように、本研究開発では、川中企業であるモーターを製造するメーカーが抱えていた、「高出力モーターが製造できる分割コア式製造法の生産効率の問題」において、モーター特性が同等のまま、生産効率が2倍向上することに成功したことで、川下企業（川中企業）であるモーター使用者（製造者）にとっては、高性能なモーターを低価格、短納期で購入（製造）できることになった。

株式会社ベステックは、今後、展示会の出展、試作機の公開により、自動車メーカー、産業機器メーカー、ロボットメーカーにPRし、積極的に売り込みを図る。

以上