

ホイス1号機 (1927)



国産第1号の大型電気機関車ED15形 (1924)



日立初のエレベーター (1932)



国産初のMG式溶接機 (1925)



初期の汎用モータ (1918)



5馬力3相誘導電動機1号機 (1910)

「モータ・インバータの開発」

◎は一般事項、他は日立関連事項
◆はモータ、インバータを利用した製品
●モータ ●インバータ

1820 ◎エルステッド(デンマーク)、

「電流の磁気作用」を発見

1821 ◎マイケル・ファラデー(イギリス)、

世界初の電動機を発明

1831 ◎マイケル・ファラデー、

「電磁誘導の法則」を発見

1887 ◎ニコラ・テスラ(アメリカ)、

2相誘導電動機を発明

1890 ◎ドロウオルスキー(ドイツ)、

3相カゴ形誘導電動機を発明

1910 日立創業、5馬力3相誘導電動機を完成

1911 ◆100馬力空気圧縮機を製作(国内初)

1916 ◆扇風機の製造開始

1918 汎用モータの生産開始

1924 ◆ED15形電気機関車を完成(大型の国産第1号)

1925 ◆MG式溶接機を開発(国産初)

1926 汎用モータをJEA規格化

1927 ◆ホイス1号機完成

1932 ◆エレベーターの製造開始

1932 ◆電気冷蔵庫の1号機を完成

1946 ◆「日立ベヒコン」(小型空気圧縮機)

1号機を発売

1947 汎用モータの銅バーロータをアルミダイカスト化

し生産性向上

1952 ◆洗濯機の1号機を完成

1952 ◆ウインドー形エアコンEW150を発売(国内初)

1953 オペリ軸受から玉軸受採用によりメンテナンス

フリー化

1956 ◆DF90形ディーゼル電気機関車を完成(国産初)

1960 ◎PAM(パルス振幅変調)インバータの発明

1964 ◆東海道新幹線用電車0系(直流モータ)

1964 ◎PWM(パルス幅変調)インバータの発明

1968 ◆300m/分超高層ビル用エレベーターを完成

1969 モータ絶縁クラスEシリーズ化、絶縁信頼性を

向上

1977 鋼板フレーム(従来は鋳物フレーム)採用で、

軽量化・製造現場環境改善

1977 モータ生産2000万台達成

小型インバータJ100(1987)



インバータ制御冷蔵庫R-326JIK (1986)



世界初の直流インバータエアコン
RAS-2223H (1983)



日立初の量産インバータT5(1979)



産業を駆動し、生活を拓く
基盤プロダクツ

モータ・インバータ技術



東海道新幹線用電車0系 (1964)



日立洗濯機1号機 (1952)



国産技術による電気冷蔵庫1号機 K-40(1932)



「ザ・モートルNeo100」屋外型 (2007)



「ザ・モートル」1号機 (1994)



国内初のウインドー形エアコンEW-50(1952)



小型空気圧縮機「日立ペビコン」(1946)

- 1979 量産インバータT5、T10生産開始
- 1980 HFC10インバータ生産開始
- 1980 専用カスタムLSI、汎用マイコン、正弦波PWM方式の導入
- 1981 ベクトル制御インバータを開発、トルクの制御を実現
- 1981 主素子にGTO(Gate Turn-off Thyristor)を採用、制御端子による小電力制御を実現
- 1982 ◎国内初のインバータ制御電車(熊本市交通局)
- 1983 ◆ブラシレス直流モータ採用の直流インバータエアコン発売(世界初)
- 1985 ◆規格型エレベーターにインバータ制御を採用
- 1986 ◆インバータ制御冷蔵庫R-326J-Kを発売
- 1987 小型インバータJ100発売
- 1989 主素子にIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を採用
- 1991 パワーC-IPMを採用
- 1991 ◆電流形インバータ制御5.40m/分超高速エレベーターを納入
- 1992 ◆世界最大容量(狭軌道)インバータ式電気機関車を開発
- 1992 ◆新幹線初のインバータ制御車両(JR東海300系)
- 1994 ◆インバータ搭載スクルー圧縮機を発売(世界初)
- 1994 アルミダイカストフレーム採用で小型・軽量の「ザ・モートル」シリーズ発売
- 1988 ◆インバータ制御洗濯機
- 2001 モータ生産4000万台達成
- 2003 インバータSJ200シリーズ発売
- 2003 ◆インバータ搭載レシプロ式パッケージオイルフリーペビコン発売
- 2005 大容量モータ300kW、スーパースピードシリーズ発売
- 2006 ハイボルトキャモータ、RAシリーズ発売
- 2006 高機能インバータ、SJ700シリーズ発売
- 2007 「ザ・モートルNeo100」シリーズ発売
- 2007 小型インバータX200を発売
- 2007 ◆自動給水ユニット、インバータウォーターエース発売

小型インバータX200(2007)



自動給水ユニット、インバータウォーターエース (2007)

インバータ搭載レシプロ式パッケージオイルフリーペビコン (2003)



世界初のインバータ搭載スクルー圧縮機 (1994)



高機能インバータ、SJ700(2006)



インバータ制御洗濯機NW-8P5(1998)



新幹線初のインバータ制御車両JR東海300系(1992)



日立創業の伝統を受けて

株式会社日立産機システム（以下日立産機）習志野事業所は、東京湾岸、幕張メッセにもほど近い習志野市内にある。北には自衛隊の精鋭パラシュート部隊の駐屯地と演習場があり、南にはJR総武線と京成本線がともに東西に走っている。

自衛隊駐屯地の隣とはいっても、ただけしい雰囲気ではない。構内には数多くの桜の木が植えられており、正門から北を望む中央部並木にはヤエザクラ、さらに敷地の境から工場を取り巻くようにソメイヨシノなどさまざまな品種が配され、春先のシーズンとなると、開花期も異なることから1カ月近く目を楽しませてくれる。

そんな田園的風景に囲まれた日立産機習志野事業所で生産されているのは、電動モータやその駆動をコントロールするインバータ装置をはじめとする各種の産業システムだ。

なかでも日立ならではの、まず挙げられるのはモータである。

日立製作所の歴史は、明治も終わりに近い1910（明治43）年、小平浪平がエンジニアとして勤めていた久原鋳業所日立鋳山付属の修理工場で、電機製品といえは輸入に頼るしかなかった風潮に抗して、自力で5馬力誘

導電動機を開発したことに始まる。

この5馬力誘導電動機は3台製造され、ここ日立産機習志野事業所にも同じ年に製造されたものが1台保存されている。

小平浪平が率いる開発陣は、20（大正9）年には日立・亀戸の両工場を擁し、久原鋳業所から株式会社日立製作所として分離独立した。

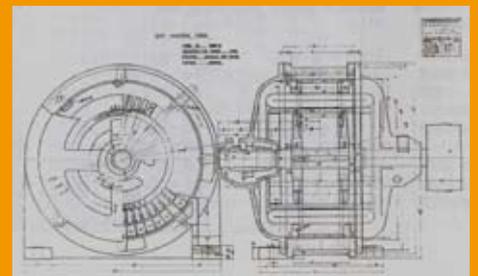
モータ製造を担当する工場は、'62（昭和37）年には習志野に移転、2002（平成14）年には従来の「産業機器グループ」を中核とした日立産機が発足、現在の体制となった。

日立グループでは、1910年の創業小屋でのモータ製作をもって日立製作所の創業と位置づけている。つまり、日立グループの歴史は国産電動モータの歴史であり、100年前から現在まで、その全史でグループを支えてきた部門に連なるのが日立産機なのだ。

では、創業製品のモータは、100年前の日本において、どれだけの技術革新だったのだろうか？

日立のモータの歴史に詳しい高井理（事業管理部長）はこう語る。

「小平浪平が創業小屋でつくり上げたのは、交流の電流を利用した、交流誘導モータでした。この誘導モータは従来の直流モータより優れた特性をいくつももっていました。何よりも大きかったのは、大型発電所で発電し、



5馬力誘導電動機的设计図面

電線を通じて各工場や家庭に運ぶシステムでは、20世紀に入るちょっと前には、すでに交流方式が主力となっていたことです」

交流誘導モータというイノベーション

1882（明治15）年、トーマス・エジソンはニューヨークで、発電から工場や家庭での利用までの一貫したシステムとしては世界初の電力網サービスを開始した。

エジソンの電力網では、発電所でも、また工場や家庭でも、直流モータが使われている。直流モータの原理は単純。今現在も変わっていない。

電力と磁場によって大きな回転力を生み出すモータと、水流や加熱ガスでモータを回転させて電力を生み出す発電機とは、電流の向きが逆なのを除けば、まったく同じ原理で動いている。

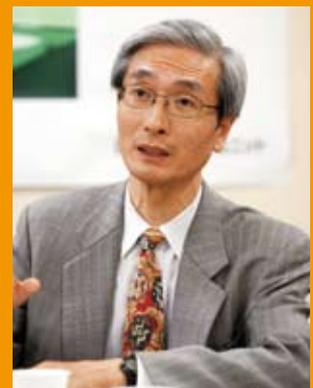
直流モータは、ケースと一体型の固定子ステータ、やはりコイルを巻いた、ただしこちらは自由に回転できる回転子ロータ、それにモータの軸部で回転子に電流を送り届けるブラシ部分と整流子、この三つの要素から構成されている。

フレミングの法則によれば、同心円状に幾重にもらせん状に巻かれたコイルは、直流電流が通ると磁石としてふるまう。

それは回転子も同じことで、このシステムに電流を流してやれば回転子は回転を始める。しかし、「NS・SN」と互いに引き合い、安定した位置関係が築かれるととたんにピタリと止まってしまふ。

SがNを永遠に引っ張り続けるようなしくみはないだろうか。直流モータの場合にはシンプルな解決策があった。それが「ブラシと整流子」である。

原理を説明してくれたのは妹尾正治（ドライブシステム事業部PMモータ設計部副技師長）だ。



高井理
事業統括本部 事業管理部 部長



妹尾正治
事業統括本部 ドライブシステム事業部
PIMモータ設計部 副技師長

「直流モータの整流子はとてもシンプルなしくみで、回転子が半回転するたびに、接触ブラシから与えられる電流の向きを180度変えてしまいます。SがNに近づけば、ブラシ経由の電力供給は途絶え、さらに進めば、今度はこちらからアース方向へと逆向きの電流が流れる。この繰り返しで、直流モータは回転を持続します。

一方、交流電流を用いる誘導モータでは、ブラシと整流子を組み合わせたこうしたメカニズムは必要ありません」

そもそも交流電流とは、一定の周期で、プラス、ゼロ、マイナスとその向きを変える電流のことだ。

交流電動機では、毎秒50〜60回、電流の向きが入れ替わる。行ったり来たり、毎秒50回……。このため、交流誘導モータには、一見、奇妙な現象が起きる。誘導電流だ。

交流電動機の回転子には、固定子と同様のコイルが巻かれている。ただし、このコイルは閉じていて、別の電流を取り込むための

回路はどこにもない。ところが、19世紀の電気の魔力は、この閉じたコイルに電気を流すことを可能にしたのだ。

フレミングの法則。原理そのものは目新しいものではない。コイル状に巻かれた電流回路、つまり、人工の弱い磁場の中に磁石を差し込むと、一瞬、周囲に新しい磁場が発生する。この時、コイルの中にはどこから来たのでもない電流が生まれる。

この現象が誘導電流であり、そう呼ばれるのは、磁場の中の荷電体の運動に刺激され、電流が誘発されるからである。

行ったり来たり、交流電流の向きが変わることに、固定子の周りの磁場はゆらぎ、姿を変え、固体子が形成する磁場もまたその姿を変える。

もしも3次元的な磁場の様子を目で見ることができれば、それが単なる変動ではないことがすぐにわかるだろう。固定子の周囲では、固定子そのものではなく、その周りの磁場が、交流周期と同じ毎秒50回、あるいは

60回にわたって回転し踊っているのだ。

電流が生まれれば、そこにはNとSの二極をもつ磁石が生まれる。回転子側のN極やS極は、固定子側の磁場の中の自分と位相が合う状態を探し、そして、固定子側の磁場と同じ頻度で、ただしこちらは回転子ごと全部、もともと交流電流と同じ頻度で回転するのだ。

「外からは直流を使っているように見えても、結果的にはどんなモータでも、回転を始める段階ではなんらかの形で交流の電流に変換しているのです」妹尾

モータの回転速度の滑らかな制御を実現したインバータ技術

こうした交流誘導モータの発見は、電動機史上最大の事件となった。

しかも、交流誘導モータは構造がシンプルで、回転子にややこしい整流子やブラシをつ

なく必要もなかったから、メンテナンスも楽だった。1910年のモーター1号機が、今なお電流(3相交流)を流せば稼働できるのは、交流電動機に、そうしたメンテナンスフリーの特性があったからだ。

しかし、交流誘導モータには大きな欠点もある。

交流誘導機の回転率は、固定子によって形成された磁場の回転速度によって決まってしまうのだ。電源に用いる交流電流の周波数、日本ではたとえば50Hzや60Hz以外で運用することが難しかったのである。

また、交流誘導モータは、スイッチを入れてから定格の出力に達するまでのエネルギー効率がよくなかったし、緊急にスイッチを切るものなら過渡的な電流で制御回路が焼き切れてしまいかねない。

そこで、こうしたスイッチのオン・オフのために、電気式のサイリスタ素子や過剰電流吸収用の大容量コンデンサなどが導入された。1970年代も後半になると、ここにIG



固定子(ステータ)のコイル巻き



回転子(ロータ)の製造



モータの組立ライン



インバータの組立ライン



藤井洋
事業統括本部 開発管理センター長



森永茂樹
業務役員 研究開発センター長兼CTO

BT(絶縁ゲートバイポーラトランジスタ)に代表されるパワー半導体モジュール(パワートランジスタ)が登場し、大電流の制御に新時代の半導体素子が使えるようになった。

このころにはすでに、コンピュータ用の演算回路には、ICやLSI、マイクロプロセッサ(マイコン)が多用されるようになっていた。

しかし、重い負荷を機械的に動かすようなモータの仕事に使う大電流と電算回路とは、環境が違いすぎる。モータ側の作動条件では当たり前水準の電氣的磁氣的ノイズのごく一部でも、マイコン側に漏れ出たなら、LSIやマイコンはたちまち焼けてしまうだろう。絶対的とも思えるこうした壁をくつがえし、交流モータの動きをデジタル回路で自在にコントロールするようなイノベーションはないか……。

その夢はやがて、交流の電気をその周期から波形まで自在に制御する「ベクトル制御方式」の考案へとつながった。

そして、波形合成理論の進歩により、アナログで振幅を調整させるPAM(パルス振幅変調)に続いて、モータに加える電流の波形や振

幅をパルス、つまりデジタル単位で操作できるPWM(パルス幅変調)が登場、'80年代半ばまでは、新時代のインバータ方式の未来が見え始めたのである。

インバータとは、直流の電流を交流に変換する装置の名称であり、通常、交流電流をいったん直流に変換するコンバータと対で使用される用語だ。

インバータの開発に一貫して携わってきた藤井洋 開発管理センター長の説明を聞こう。

「まず、電力会社から送られてくる交流電流を、コンバータによって直流電流に変換します。次に、専用のマイコンチップや強力な電流電圧の瞬間にも耐えられるパワー半導体モジュールによって、この直流電流を交流電流に変えてやります。この再変換にあたっては、マイクロ秒単位でのリアルタイムな監視のもと、周波数も振幅も自在に変えることができます。

サイリスタは電源を入れたり切ったりするその延長で、たとえば、エレベーターの速度を制御するものでした。また、初期のパワー半導体モジュールにより、同じエレベーター

の速度を細かく制御できるようになったものの、その速度変化をグラフに表すと、ジグザクな変化のその角がやや丸くなったにとどまっていることがわかります。

それが、'80年代になってから急速に進んだインバータ技術によって、その速度変化は文字どおり滑らかなものとなりました。利用者にとっては、過去のエレベーターのゴトゴトンという動きとは比べものにならない乗り心地が実現されたわけです」

インバータ方式モータの快進撃

日立の産業機器グループ(現日立産機)では、'79 昭和54年にはすでに汎用モータとセットで使うインバータの量産を開始していたが、これら商品化された製品への実装などを介して新システムのテストは続けられ、'82年には、電車の駆動系にインバータ方式が採用された。

翌'83年には、業界に先駆けて、ブラシレス直流インバータ方式の家庭向けエアコンの発売も開始された。ブラシレスであることから

も知れるように、時代の最先端のさらに先をゆく先進的な製品となった。

交流と直流の魔術師の活躍はまだ続く。同年にはインバータ制御冷蔵庫も発売され、'85年にはインバータ方式のエレベーターが商品ラインアップに並んだ。

そして'90年代に入り、新幹線に、日立の技術に基づいて開発された初のインバータ制御動力車両が登場した。

鉄道の世界では、インバータによって実現された電圧や交流周波数を自在にコントロールする方式は英語の頭文字をとってVVVF(可変電圧可変周波数制御)と呼ばれているが、この技術はさまざまな効果をもたらしている。

たとえば回生ブレーキ。電動モータのしくみは発電機と同じであることに着目し、鉄道などでブレーキをかける際に、その減速エネルギーをもう一度、電力として送電線に逆向きに返してやろうというものだ。

だが、アイデアとしては優れたものだけだ。いざ、これを既存の鉄道で実現しようとする、逆向きの電流に耐えられる制御回路など、いくつもの難問があることがわかってきた。VVVFでは、パワー半導体モジュールとインバータ方式により、その難問もクリアすることができた。

エアコン、冷蔵庫から、エレベーター、新幹線まで、インバータ方式モータの快進撃は続いた。

永瀬唯(ながせ・ただし)

1952年生まれ。東京都立大学理学部卒業。理工学系出版社の編集を経て、科学技術ライターとなる。1987年、サイバークムーブメントを契機として、技術文化史、SF思想史を中心とした評論活動を開始。明治大学理工学部講師。著書「宇宙世紀科学読本 スペース・コロニーとガンダムのできるまで」(角川書店)、『腕時計の誕生』(廣済堂出版)、『京極夏彦の世界』(青弓社)、『欲望の未来 機械じかけの夢の文化誌』(水声社)ほか。

5馬力(3.7kW 4極) モータの変遷



1号機に対して18%の容積比、20%の重量比を達成

汎用インバータの技術的変遷

	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
演算素子	4ビット	マイコン	(デジタル化)		32ビット				
素子	演算増幅器(アナログ制御)	サイリスタ	パワートランジスタ	GTO(Gate Turn-off Thyristor)					
						IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)			
制御	PAM(アナログ制御)					PWM(デジタル制御)			ベクトル制御

新材料「圧粉磁心」を用いたモータの小型化技術

鉄心に巻かれたコイルに電流を受けて回転するモータのいわば心臓部である鉄心には、従来「電磁鋼板」を積み重ねたものが使われていたが、形状が制約され、小型化が難しいといった問題があった。

日立は、鉄粉を圧縮成形した「圧粉磁心」に着目。もともと自由な形状が得られ、電気抵抗が高く渦電流が少ない、といった特徴があるが、特殊な熱処理による高密度化によって圧粉磁心の強度を従来の5倍とする技術、および鉄心の巻線端部などを省略してモータの軸方向を短くする技術を開発した。

これらの技術を用いて出力100Wの産業用モータを試作し、軸方向の長さを従来型の約2分の1に、モータ効率を5%向上できることを確認。これにより産業用、家電、自動車などのモータ搭載機器の小型化、軽量化が可能となった。



開発された圧粉磁心



圧粉磁心を採用した小型モータ

省エネ、省資源の基盤技術として

ところが、'90年代に入ると、さらに新しい技術が注目を集めることになる。

「回転子のコイルに代わって、軽量で超強力な永久磁石を用いたモータが実用化されたのです」と言うのは、モータの技術開発に取り組んできた妹尾だ。

「実は、交流誘導モータには一つの問題が残されていました。回転子内部に流れる電流は固定子の磁界が回転するために生じた二次的なもの。このために、わずかなスレ―すべりという現象が起きます。2〜3%の電力消失といえは少ないように思えますが、永久磁石を回転子に用いたPMSM(永久磁石同期モータ)では、回転子と固定子の磁場の動きが完全に同期しているため、すべりはゼロ。このため、'90年代には中小型のモータから始まり、PMSM方式への移行が急速に

進むことになりました」(妹尾)

なるほど。交流モータから始まった日立の歴史を、まさにその原点から継承し未来へとつないでいるのが日立産機というわけだ。

日立産機としての商品ラインアップは、顧客の注文に応じてある程度のカスタマイズをする「汎用モータ」、あるいはその汎用モータとセットでインバータを用いるシステムが中心だが、日立グループ全体を眺めれば、これまでに出てきたエレベーターや新幹線車両、エアコン、冷蔵庫など、モータ・インバータ技術に支えられた多種多様な製品が、さまざまな事業部によって開発、実用化されている。

森永茂樹(業務役員 研究開発センター長兼CTO)によれば、「日立産機の特徴の一つとして、モータという、日立グループ全体で共有すべき技術の開発を基盤から行い、他の事業部と共有していくことがまず挙げられる」という。

「今回、紹介したさまざまな分野の製品の場合、日立産機の役割は、パーツとしてのモータやインバータの提供、基礎的な技術協力が中心になります。

ただ、一見地味なこの分野においても、インバータ技術をコアとして、新たな革新的技術が普及しつつあります。地球的規模の気候変動が現実となった今、ドラスティックな省エネは産業界の責務。インバータを用いた交流誘導モータや永久磁石同期モータは、エネルギー回生システム、つまりミニマムな発電装置としてもきわめて有用なのです。

こうした機能を基盤として、たとえばパッケ―ジエアコンに使った水を排水で落とすときに発電することなどにより、中小の生産工場における電力消費を徹底して減らせるといのが、日立産機で製品化したエネルギー回収システムです。

工場内の電力消費をリアルタイムに監視し、最適化するというその機能は、インバータ制御方式モータの開発を通じて、われわれが進めてきた事業のまさに延長線上にあります」産業機器、輸送機関、家電……。ありとあらゆる動力製品に組み込まれてきたモータとインバータ。そのほとんどは外からは見えないが、それによって私たちが受けた恩恵は計り知れない。そして今、省エネ、省資源という時代の要請をも土台として支えつつ、その技術はまた新たなシステムへ展開されようとしている。