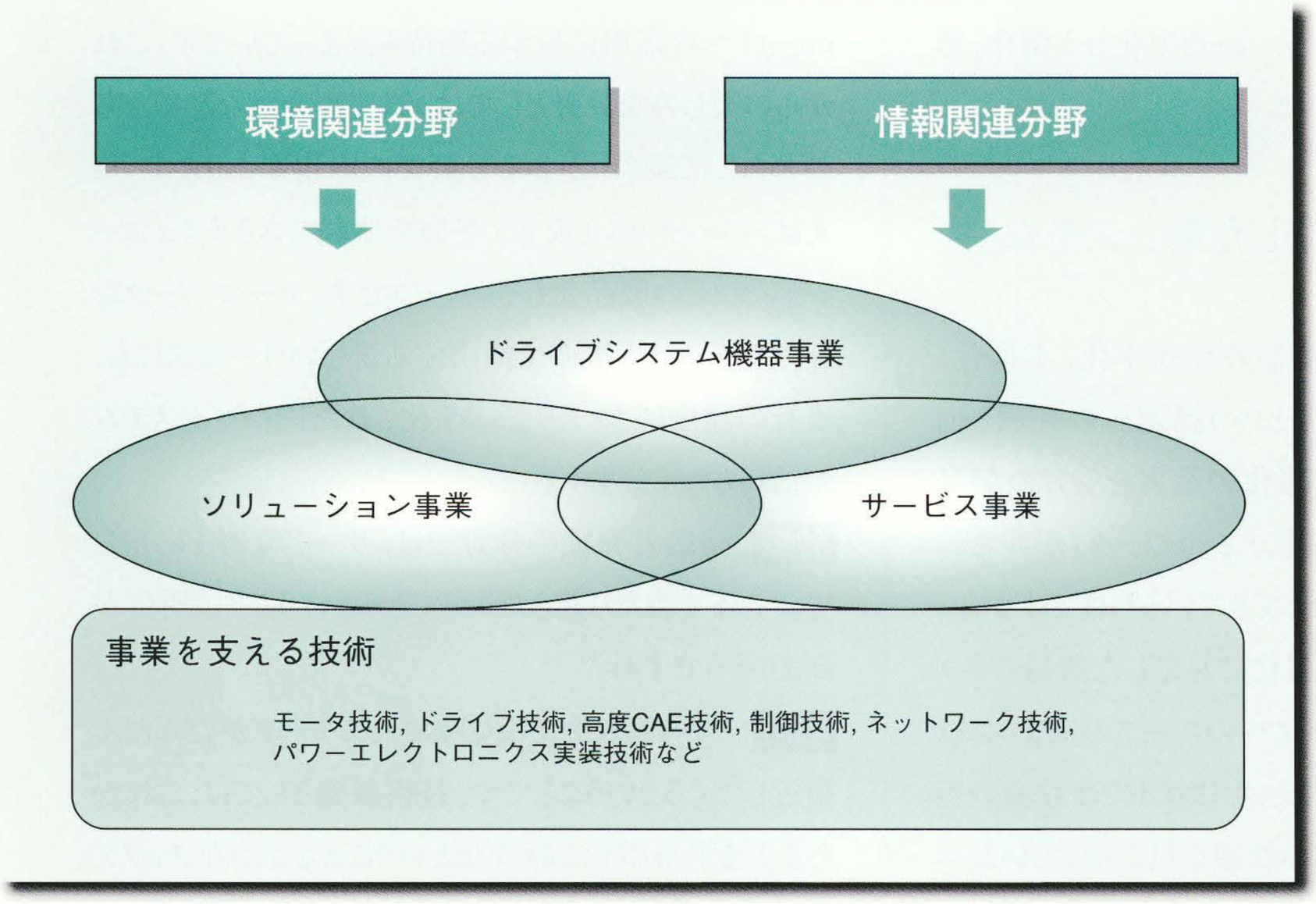
産業用ドライブシステムの動向と日立製作所の今後の取組み

Trends and Prospects for Future Development of Industrial Drive Systems

石川芳壽 *Yoshihisa Ishikawa*
森永茂樹 *Shigeki Morinaga*



注：略号説明
CAE(Computer-Aided Engineering)

環境，情報関連分野で活躍する産業用ドライブシステム

環境，情報関連分野に対して日立製作所の産業用ドライブシステムは，ドライブシステム機器事業，ソリューション事業，サービス事業へと高度な技術で大きく拡大してゆく。

産業用ドライブシステムは，省エネルギーなどの環境関連問題や，情報革命に代表される情報関連問題によって大きく影響を受け，それに伴って必要とされる技術も大きく変化している。

環境関連では，地球温暖化防止のための省エネルギーのニーズが各業界で高まっている。2000年7月に制定された高効率誘導モータのJIS(日本工業規格)に合わせて，日立製作所は，高効率誘導モータ「Super Powerシリーズ」を製品化した。さらに，高効率の永久磁石モータも同時に発売し，ポンプやファンなどの省エネルギー駆動に大きく貢献している。また，このような機器のほかに，ドライブシステム全体を省エネルギー化するソリューション事業とサービス事業へも進出しつつある。

情報関連の分野では，ドライブシステムでの情報の流れが双方向となり，分散制御化に向かっている。これに伴って重要となってきた，ドライブシステム機器の情報系と制御系ネットワークに対応するプログラマブルコントローラ「EH150シリーズ」，インバータ「SJ300シリーズ」，およびACサーボシステム「ADシリーズ」を製品化した。

以上のように，日立製作所は，高度化したCAE技術やネットワーク技術を取り込んだ次世代産業用ドライブシステムの開発により，高性能化，インテリジェント化したドライブシステム機器事業に加え，これらに関連するソリューション事業とサービス事業への展開を進めている。

1 はじめに

産業用ドライブシステムは，省エネルギーなどの環境関連問題や情報革命などの情報関連問題によって大きな影響を受けている。それに伴って，ドライブシステムに必要とされる技術や事業形態も大きく変化している。

従来は，モータ技術やドライブ技術，制御技術，マイコン技術などでドライブシステムを構成することができた。しかし今後は，高度CAE(Computer-Aided Engineering)技術やネットワーク技術，パワーエレクトロニクス実装技術など，総合技術であるドライブシステムでは，各技術を融合する技術が重要となってくる。

日立製作所は，環境関連分野では，省エネルギーに対応した高効率モータ(高効率誘導モータ，永久磁石モータ)を，情報関連では，ドライブシステムの分散制御を可能にするネットワーク対応インバータやACサーボシス

テムなどを開発している。

ここでは，最近の産業用ドライブシステムの動向と，日立製作所の今後の取組みについて述べる。

2 産業用ドライブシステムの動向

2.1 ドライブシステムの構成

産業用ドライブシステムは，時代とともに大きく変遷してきた。モータはドライブシステムの中心的要素機器であり，当初，単なる動力源として用いられていた。しかし，1970年代以降，オイルショックなどによって省エネルギー化が注目され，モータを可変速化して，装置の高効率化が図られてきた。一方，制御装置では，省力化，自動化が盛んとなり，サーボモータなどが用いられるようになった。その後，サーボモータ，インバータなどの高性能化，高精度化が進められると同時に，ネットワーク化が重要となってきている。また，1990年代後半に地球温暖化防止などから，モータ単体の高効率化が強く要求されてきた。

これらの背景の下，最近のシステム構成(**図1**参照)は，スピードや柔軟性，シンプル性が要求される情報化時代のニーズにより，情報と制御の融合が図れる分散制御システム化へ大きく進んでいる。各要素機器(プログラマブルコントローラ，モーションコントローラ，インバータ，高効率誘導モータ，永久磁石モータ，ACサーボシステムなど)がインテリジェント性を持ち，各機器間はネットワークで有機的に結合されている。

また，各要素機器には，それぞれ個々の機器としてのニーズがある。その二大分野は，環境関連と情報関連である。

2.2 環境関連分野

産業用ドライブシステムでは，省エネルギーの観点から，モータの効率向上がクローズアップされている。このため，日立製作所は，2000年に制定された高効率誘導モータのJIS(日本工業規格)の効率値を満足する高効率誘導モータ「Super Powerシリーズ」を開発した。このモータは，米国EP法(エネルギー政策法：Energy Policy of Act 1992)の効率値も満足するものである。

また，注目されている効率向上策として，小型，軽量，高効率，低騒音の永久磁石モータを開発した。

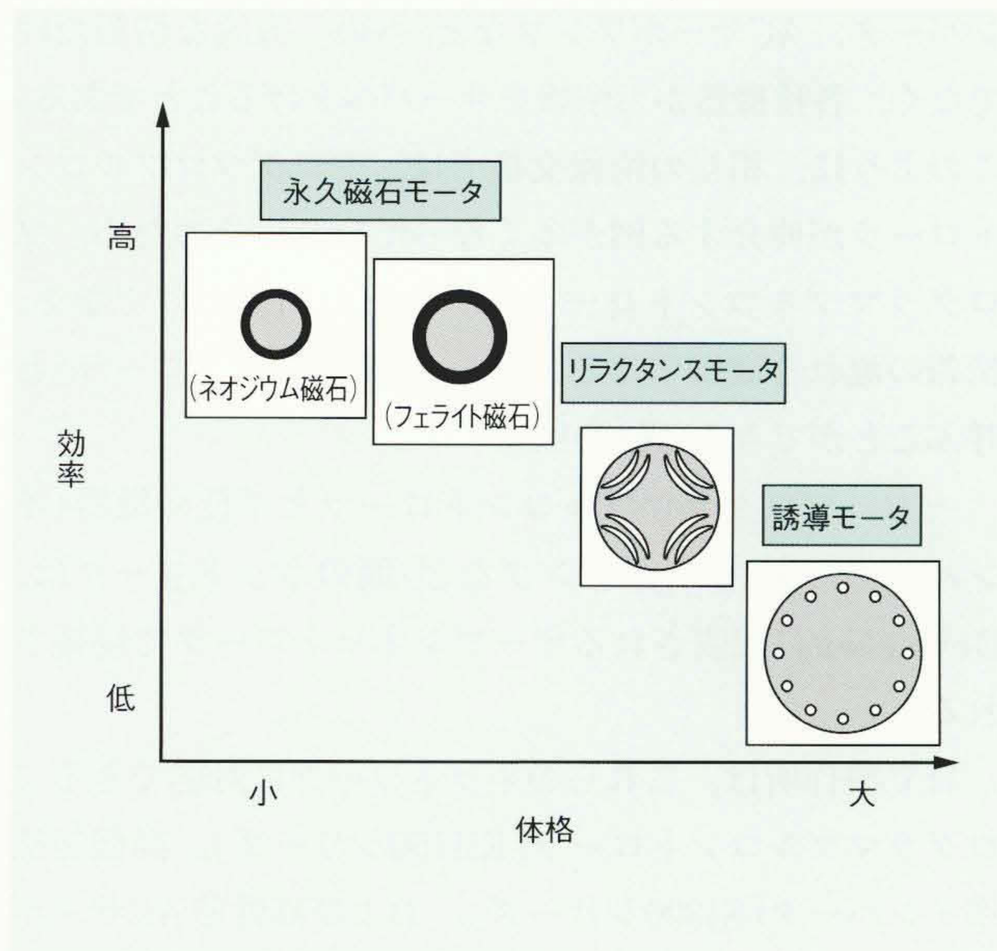
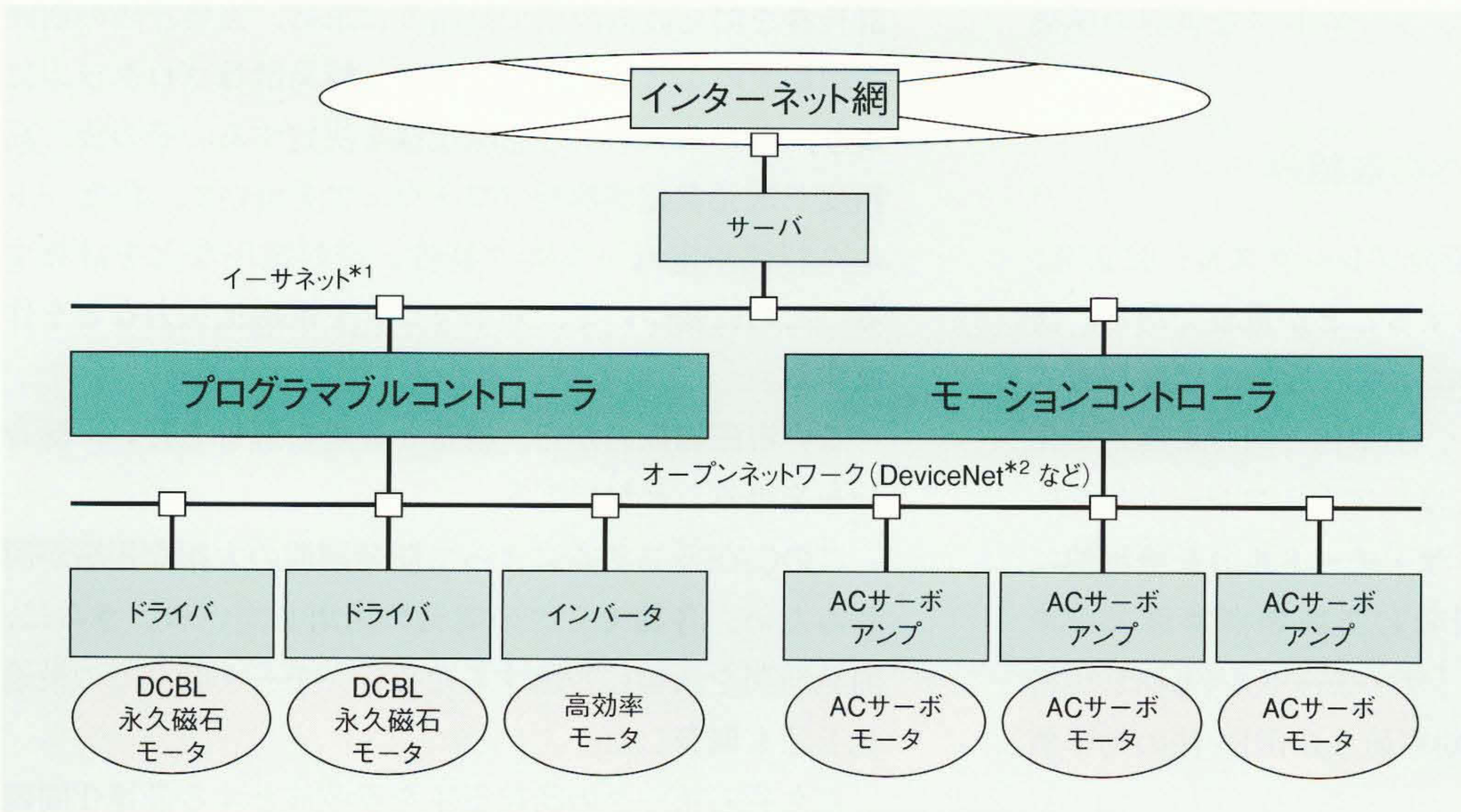


図2 モータの体格と効率
各種モータにより，効率と体格が大きく変わる。



注：略語説明など
DCBL(DC Brushless)
＊1 イーサネットは，富士ゼロックス株式会社の商品名称である。
＊2 DeviceNetは，ODVA(Open DeviceNet Vendor Association)の登録商標である。

図1 最近の産業用ドライブシステムの構成例
産業用ドライブシステムは，分散制御システム化へと変化している。

モータの体格に対する効率を表したものを**図2**に示す。同図から，永久磁石モータの効率が最大であることがわかる。そのため，永久磁石モータは大きく伸びるものと予想される。また，同図中のリラクタンスモータは，永久磁石を必要としない点で注目されている。これらは用途で使い分けることになると考える。

一方，モータを駆動制御するインバータでは，周囲の環境に配慮した電磁ノイズの低減や高調波対策が重要であり，今後の大きな課題である。

2.3 情報関連分野

産業用ドライブシステムでは，情報化が進行している。その情報化とは，上位のサーバから下位の各種機器(インバータ，ACサーボアンプなど)への一方的な情報だけでなく，各種機器から情報をサーバへ上げることである。このように，相互の情報交換では，プログラマブルコントローラが仲介する例が多くなっている。そのため，プログラマブルコントローラは，入出力制御だけでなく，情報の流れを制御することから，「情報コントローラ」と呼ぶことができる(**図1**参照)。

一方，プログラマブルコントローラと下位の機器(インバータ，ACサーボアンプなど)間のネットワークは，DeviceNetに代表されるオープンネットワークで接続される。

日立製作所は，これらのネットワークに対応できるプログラマブルコントローラ「EH150シリーズ」，高機能標準インバータ「SJ300シリーズ」，および高性能ACサーボシステム「ADシリーズ」を製品化している。

上位のサーバがグローバルに展開されたインターネット網に接続されることにより，いつでも，どこでからでも各種情報を得ることができ，シームレスな世界の構築が可能となる。

3 モータの高効率化への取組み

モータの高効率化は，技術のブレークスルーにより，できるだけ小さく，高効率とすることが重要である。誘導モータの質量の変遷を**図3**に示す。近年では冷却方式および絶縁材料の改善により，小型化と同時に高効率化を図ってきた。日立製作所では，アルミフレーム化をいち早く採用し，誘導モータ(「ザ・モートル」)を飛躍的に小型・軽量化した。今回開発した高効率誘導モータ「Super Powerシリーズ」は，「ザ・モートル」と同じ体格にして，モータ効率をJISの効率値と米国EP法の効率値に適合させることができた。

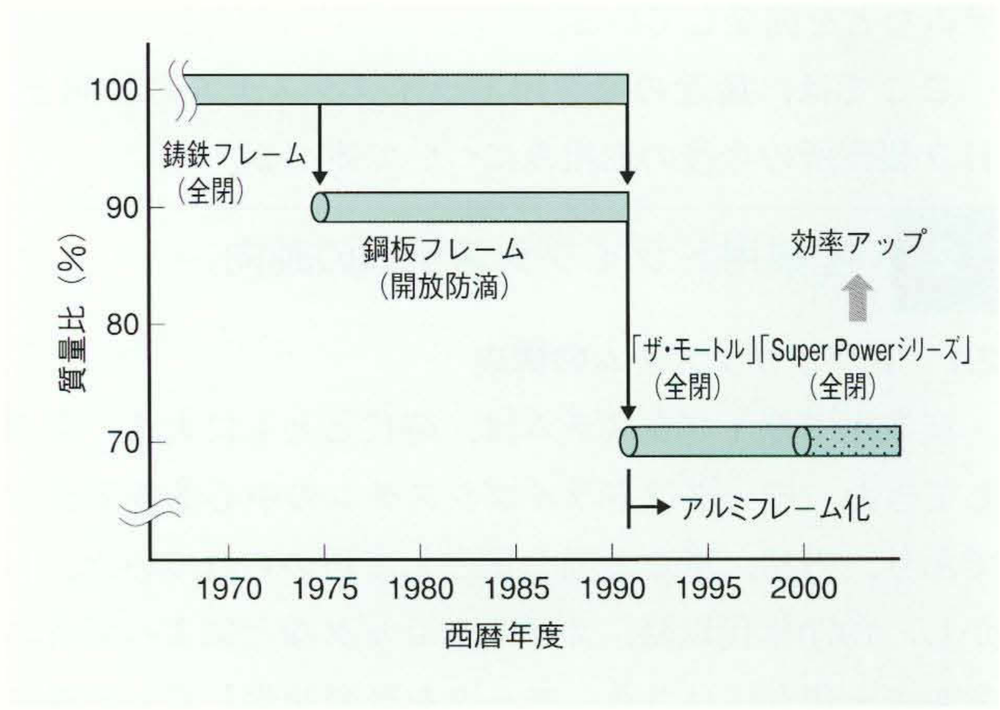


図3 誘導モータの質量の変遷(日立製作所：3.7 kW，4極機)
誘導モータは冷却方式を含めて質量は小さくなり，アルミフレーム化によっていっそうの軽量化を図った。「Super Powerシリーズ」ではアルミフレームを採用し，効率を向上させた。

モータの高効率化では，試作前の事前検討が重要である。この事前検討では，モータの解析技術が大きな役割を果たす。解析技術の中で大きく寄与するのは，電磁界解析である。

そのため，日立製作所は，新たに三次元電磁界解析技術の高精度化を図った。これは，従来の節点要素有限要素法から，磁束の保存則を厳密に満足し，高速かつ高精度で解析できる辺要素有限要素法を導き出したものである。

また，モータには，高効率化以外の重要な要素として，低騒音化がある。そのため，日立製作所は，電気—機械系の一貫CAEシステムを構築し，各種のモータ製品へ適用している(**図4**参照)。

このCAEシステムのねらいは，効率や大きさなどの設計仕様を開発設計段階で高精度に求め，実機評価の期間を短縮することにある。最初に，簡易計算プログラムにより，スロット形状と巻線仕様を決定する。その後，高精度三次元電磁界解析ソフトウェアを用いて，角度—トルク特性や電流—トルク特性，誘起電圧などを計算する。これに基づいて，効率マップや電磁加振力などを作成する。

この電磁加振力から，構造と音場の解析を行い，騒音分布を得ることができる。

このCAEシステムによって開発期間の大幅な短縮が図れるため，各種モータの開発に適用している。さらに，開発期間を大幅に短縮するために，モータ設計での最適化手法も開発した。

永久磁石モータの誘起電圧を正弦波とする最適化問題

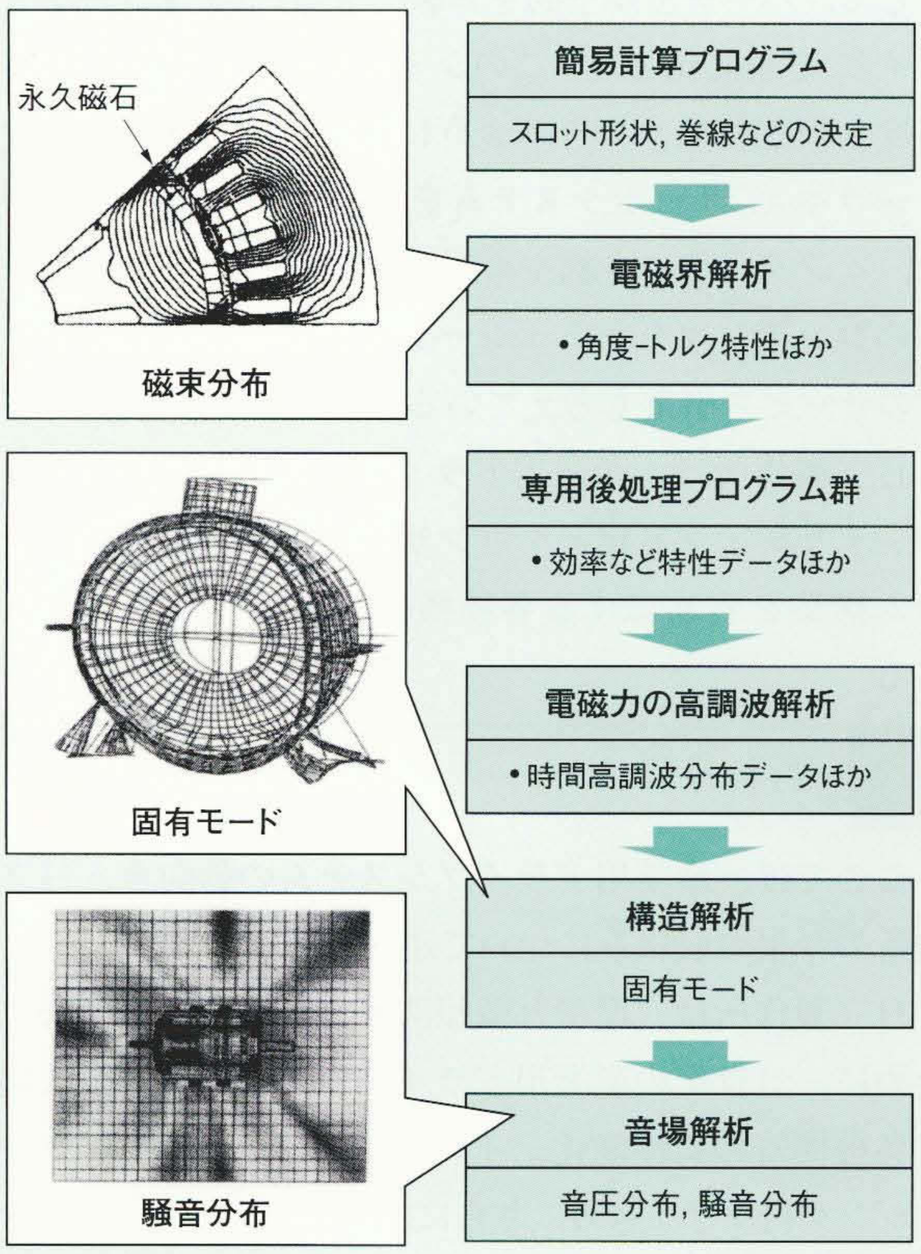


図4　高度CAEシステムの体系
電気一機械系の一貫解析システムであるこの高度CAEシステムにより，モータのいっそうの高度化を目指す。

に，その最適化手法を採用した結果を**図5**に示す。ギャップ磁束密度の空間n次成分の強さに着目し，目的関数は，基本波成分B_1に対して，高次(5，7，11次成分)B_5，B_7，B_{11}の大きさを最小にするものである。変数は，台形状の永久磁石の下辺X_1と上辺X_2とした。このような，目的関数と変数を与えることによってモータ設計を最適化する手法は，各種の応用製品に適用できるとともに極限設計を可能とする。今後，このCAEシステムに回路解析や熱解析などを取り入れることにより，一貫した体系を目指している。また，解析精度を高めるために，実験評価システムの高度化も進めている。

日立製作所は，このような高度CAEシステムを駆使して，「効率：体格」，「トルク：体格」を最大にするようなモータを開発していく考えである。

4　機器のインテリジェント化への取組み

産業用ドライブシステムでは，分散制御システムへ向かっている。そのため，情報管理へのニーズが高まっている。情報を管理するには，上位と下位の機器間との情報の受け渡しが必要となる。プログラマブルコントローラへ接続するケースでは，フィールドネットワークと呼ばれるオープンネットワークが普及しはじめている。その代表的なネットワークにはDeviceNetやProfibusなどがあり，日立製作所のプログラマブルコントローラ，標

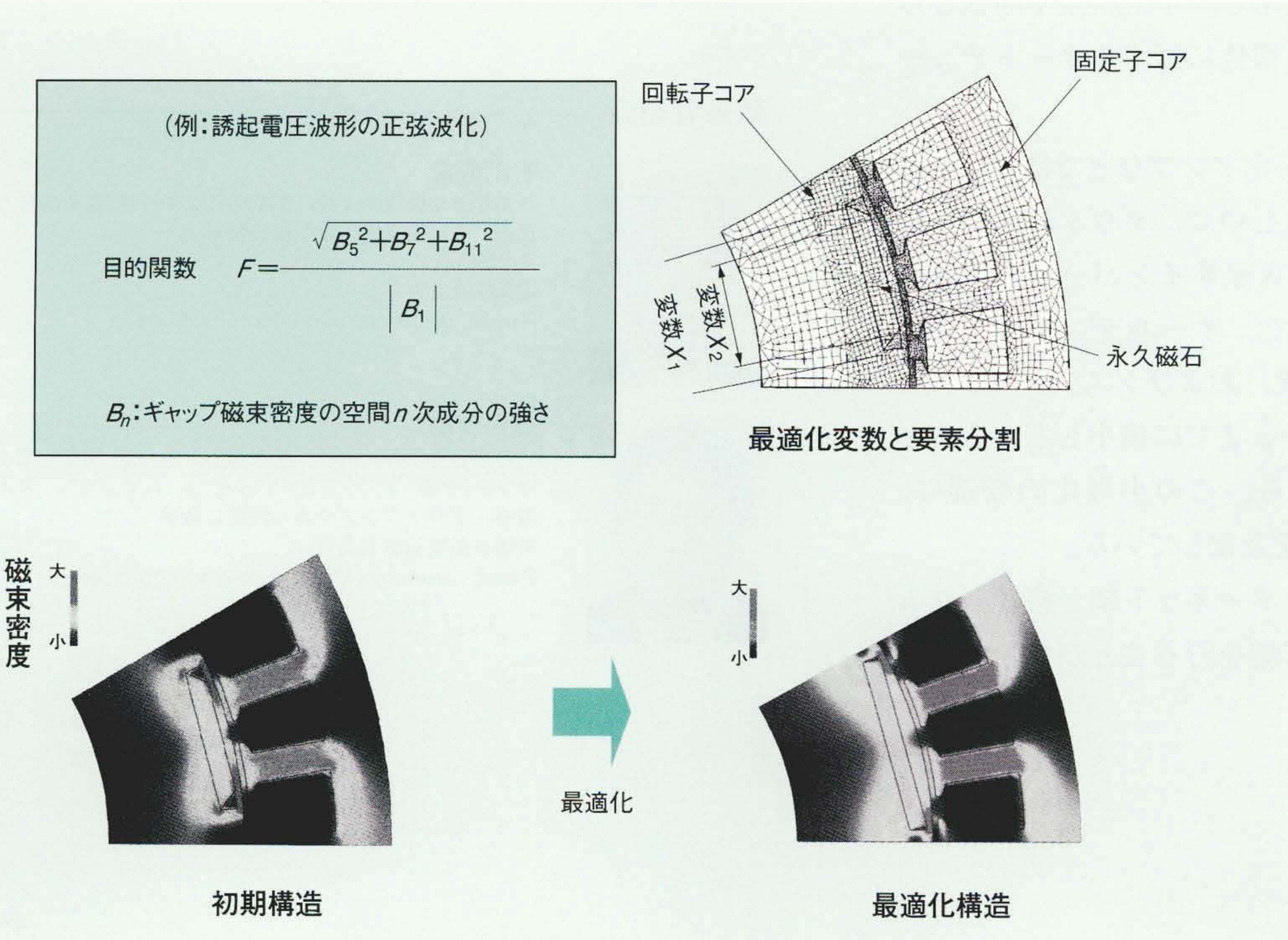


図5　モータ設計の最適化技術
この最適化手法は，モータの極限設計を可能にする手法となる。

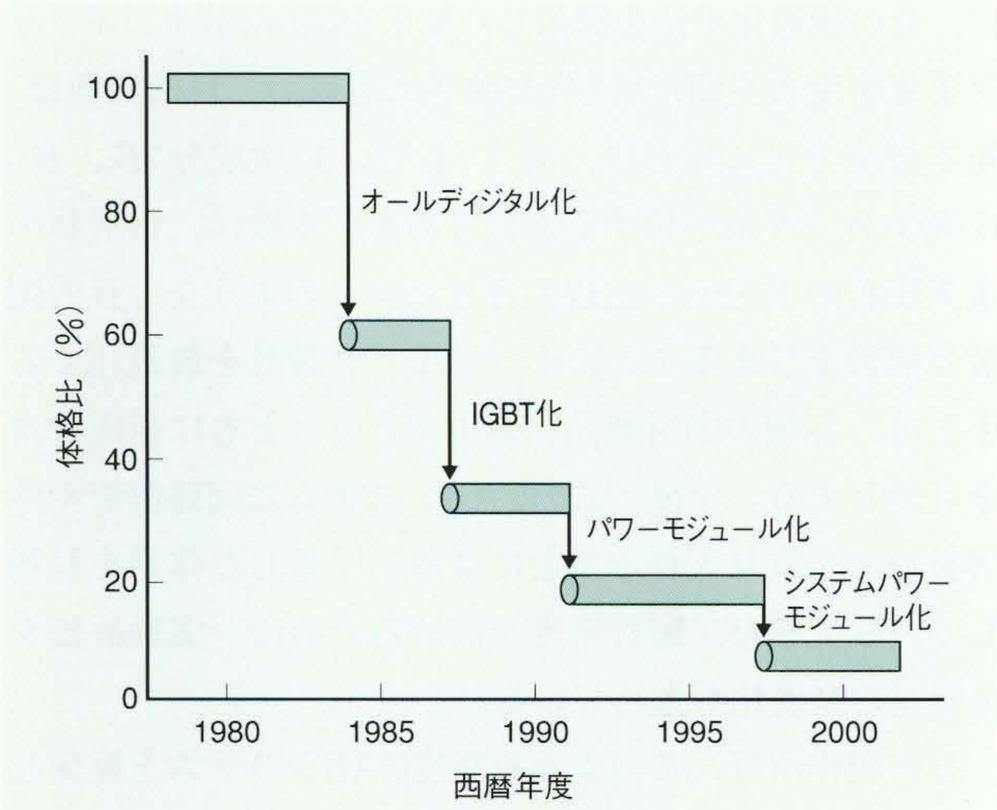


図6 標準インバータの体格の変遷(日立製作所：0.75 kW機)
標準インバータの体格は年々小さくなり，ダウンサイジングが進行している。

準インバータ，およびACサーボシステムでは，これらのネットワークをサポートしている。

また，下位の機器であるインバータやACサーボシステムなどでは，インテリジェント化が進んでいる。高機能標準インバータ「SJ300シリーズ」では，独自の次世代センサレス制御により，低速域での高トルクを実現した。また，ヒューマン インタフェース モニタ機能を搭載することにより，分散制御システムに対応している。

高性能ACサーボシステム「ADシリーズ」では，独自のコギングトルク低減構造を採用し，停止誤差や回転むらの低減を実現するとともに，慣性に対するオートチューニング機能を搭載した。

一方，インバータやACサーボアンプなどでは，このようなインテリジェント化が進む中で，ダウンサイジングも急速に進んでいる。0.75 kW標準インバータの容積の変遷を**図6**に示す。20年間で，オールディジタル化，IGBT化，パワーモジュール化，およびシステムパワーモジュール化により，容積が約$\frac{1}{15}$までに縮小していることがわかる。当然のことながら，この小型化の変遷は，ACサーボアンプにまで影響を及ぼしている。

また，上位のサーバがインターネット網と接続されるので，多種多様なサービス事業を行うことができる(**図1**参照)。

日立製作所は，産業用ドライブシステムの新しい応用として，バーチャル空間を体験できる「シミュレーションライド」を製品化した。このシミュレーションライドでは，高度な仮想体験ができるように，プログラマブルコントローラやACサーボシステムを使用している。将来的には，インターネット網や衛星通信により，バーチャル空間のコンテンツをシミュレーションライドへ配信するなどのサービス事業も考えている。

日立製作所は，産業用ドライブシステムのいっそうのインテリジェント化とダウンサイジング化を進め，システム構築を容易にする各種機器を開発していく考えである。

5 おわりに

ここでは，産業用ドライブシステムの動向と，日立製作所の今後の取組みについて述べた。

日立製作所は，環境と情報関連分野の課題を解決するために，21世紀の産業用ドライブシステムの構築に向けて各種機器の高性能化，インテリジェント化，ダウンサイジング化などに努め，さらに，サービス・ソリューション事業として，産業用ドライブシステムの応用展開も進めていく考えである。

参考文献

1) 増田：パワーエレクトロニクスの現状と今後の展開，日立評論，**82**，4，264～268(平12-4)

執筆者紹介

石川芳壽
1973年日立製作所入社，産業機器グループ 開発本部 所属
現在，各種産業機器の開発に従事
工学博士
電気学会会員
E-mail：ishi @ gm. narashino. hitachi. co. jp

森永茂樹
1972年日立製作所入社，産業機器グループ 開発本部 開発センタ 所属
現在，ドライブシステムの開発に従事
計測自動制御学会会員
E-mail：morinaga @ gm. narashino. hitachi. co. jp