インバータ・サーボ・ UPS 技術の動向と展望

栗田　茂文（くりた　しげふみ）　加護谷 隆己（かごたに　たかみ）　松枝　弘宣（まつがえ　ひろのり）

1　まえがき

高密度，低消費電力の半導体デバイスの登場，高性能マイクロプロセッサの実用化に伴い FA 分野では，汎用インバータならびにサーボシステムの適用が拡大し，設備の小型化，省エネルギー化，省力化ならびに装置の高速・高精度化が図られている。一方，IT 分野の拡大とともにコンピュータシステムを電源トラブルから守る無停電電源装置（UPS）も飛躍的な適用拡大を遂げ，コンピュータの安定稼動に貢献している。

本稿では，これら市場のニーズにこたえるために開発したハードウェア・ソフトウェア技術，あるいはシステム化対応技術とそのコンセプトのもとに系列化した富士電機の製品群について紹介する。

2　最新の技術動向

ここに紹介する駆動機器，電源装置などの電子応用製品は，半導体デバイス技術とソフトウェア技術の進展に伴って飛躍的に発展してきた。ダウンサイジングのための主回路技術，高機能・高性能化のための制御・ソフトウェア技術，小型化技術およびシステム化技術など最新の技術について述べる。

2.1　主回路技術

主回路における発熱の 50 %以上を占めるパワー素子の損失低減が装置の小型化の鍵（かぎ）を握っている。パワー素子の代表例である IGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）はスイッチング特性のほか，コレクタ－エミッタ間飽和電圧の低減など大幅な特性改善が行われた。主回路モジュールとして，小型化，保護機能の充実，低コスト化を目的として IPM（Intelligent Power Module）が採用され，小容量から中容量領域まで適用を拡大している。

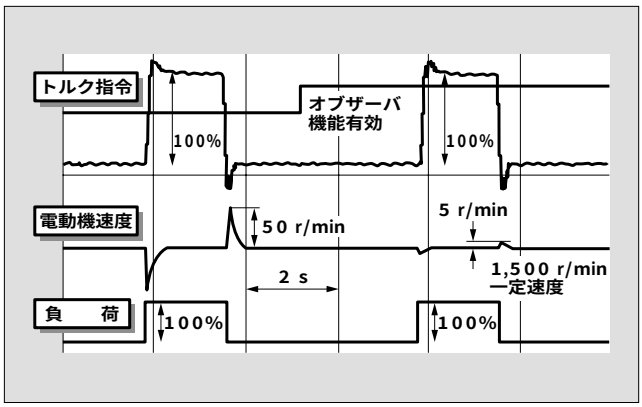
UPS の容量範囲は，0.5 kVA から 1,500 kVA まで広範囲にわたっており，各容量域に適した主回路技術を開発し採用してきた。IGBT を使用した PWM（Pulse Width Modulation）コンバータをいち早く採用し，高調波を発生しない UPS を実現した。さらに，10～50 kVA 域では，高周波トランスでの絶縁と高調波抑制を同時に実現する SMR（Switch Mode Rectifier）コンバータ回路を採用して大幅な小型化・軽量化を図った。10 kVA 以下の小容量領域では特に小型・低価格化の要求が強く，1 ～ 3 kVA の常時インバータ給電方式ではトランスレスの非絶縁回路方式を採用した。

2.2　制御・ソフトウェア技術

装置の動作タクトタイムの短縮にこたえるため，汎用インバータ・サーボシステムでは，さらなる高応答化，高性能化に向け鋭意開発に取り組んでいる。最近では，32ビット RISC（Reduced Instruction Set Computer）プロセッサの処理速度の目覚ましい向上により，従来ハードウェア主導であった技術が急速にソフトウェア技術に取り込まれてきている。

汎用インバータでは，富士電機独自のトルクベクトル制御を開発し，低回転むら，低速大トルクなど大幅な特性改善を行った。高性能ベクトルインバータでは，2 個の RISC プロセッサを使用し，制御応答の向上，トルクリプルの低減を図り，また外乱抑制オブザーバ，振動抑制オブザーバ

図１　外乱抑制オブザーバによる抑制効果



栗田　茂文

サーボ，モーションコントロール機器の開発・企画ならびにエンジニアリング業務に従事。現在，機器・制御カンパニーシステム機器事業部業務部グループマネージャー。

加護谷 隆己

UPS の開発，企画ならびに技術とりまとめ業務に従事。現在，機器・制御カンパニー電源・機器事業部電源技術部マネージャー。電気学会会員。

松枝　弘宣

可変速駆動装置の開発・設計に従事。現在，神戸工場可変速設計部長。電気学会会員。

など新しいアドバンスト制御アルゴリズムを組み込み高性能化を図った。**図１**に外乱抑制オブザーバによる抑制効果を示す。

サーボシステムでは，装置の動作タクトタイム短縮の要求にこたえるため，高速化・整定時間の短縮にチャレンジしてきた。その結果，機構部先端の持続的振動と機械への振動・衝撃の増大を誘発し，動作タクトタイムも限界に達していた。

富士電機のサーボシステムではこの限界を打破すべく，高速化・整定時間短縮を犠牲にせず，持続的振動と機械への振動・衝撃の大幅低減を図った富士電機独自の制振制御技術を開発した。**図２**にその制御ブロック図を示す。制御方式は機械モデル（2 慣性モデル）を内部に持ち，モデル先端部の振動がなくなるようにモデル内で制御する。その制御量を電動機の位置・速度制御に補正として加えることで，先端部の振動を抑制している。

図３に，制振制御機能によるロボットアームの振動抑制効果を示す。図から明らかなように，位置決め整定時間を犠牲にすることなく，アーム先端の振動振幅で約 1/5 以下，収束時間で約 1/3 以下が達成されている。この成果により，装置のタクトタイムは 20 ～ 30 %短縮され，かつ機械の振動・衝撃を大幅に低減させることができる。

そのほか，原点復帰不要の省配線方式 ABS（Absolute）エンコーダの採用，プログラマブルコントローラ（PLC）から直接位置決め制御を実現する省配線高速シリアルバスの搭載，直線・回転割出し位置決め機能内蔵アンプなど機種メニューの充実を図った。

一方，UPS に要求される入出力の性能項目は，負荷機器に安定したきれいな電力を供給し続けることと，入力電源側には高調波を発生しないことである。

出力電圧の制御方式として PWM インバータのキャリヤサイクルごとに出力電圧波形のひずみを補正する瞬時値制御方式が一般的となり，ひずみの少ないきれいな波形を実現すると同時に負荷投入・遮断時，停電・復電時の過渡応答特性を大幅に改善している。また常時インバータ給電方式の UPS では，従来のサイリスタ整流器に替えて PWM コンバータを採用し，この入力電流波形を入力電圧と同期したきれいな正弦波形に制御する PFC（Power Factor Correction）制御を用いて，入力高調波電流を低減すると同時に入力力率をほぼ 1.0 として入力所要電力の低減を実現している。

2.3　小型化技術

小容量インバータ，サーボアンプの小型化のために，低損失形 IGBT の採用のほか，冷却技術が大変重要である。冷却フィンは従来，アルミダイキャストが主流であったが，小型・軽量化が可能な冷却効率のよいかしめフィンやブレージングが採用された。

図２　制振制御ブロック図

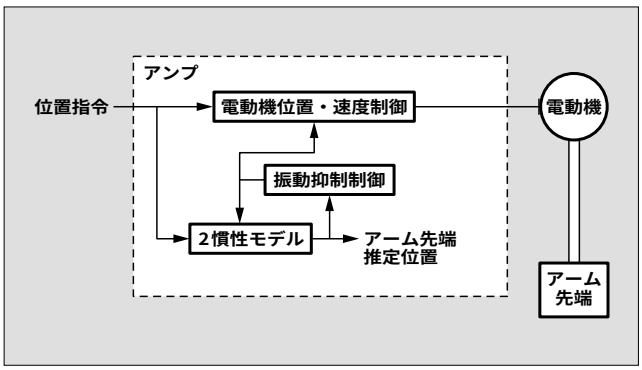
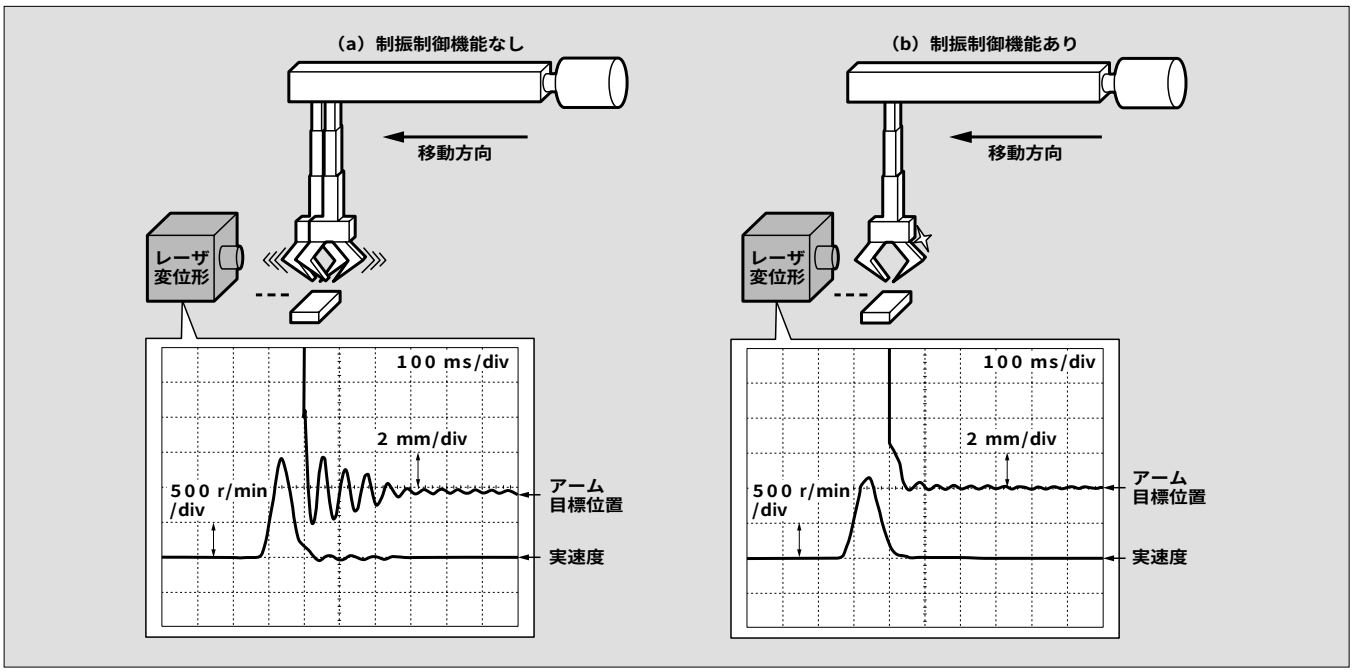


図３　制振制御機能によるロボットアームの振動抑制効果



薄型ベクトルインバータ FRENIC5000VG7F では，主回路部品とプリント基板を適正配置し，ユニットの薄型を実現するヒートパイプ式冷却体を開発し，奥行寸法 90 mm を実現した。本インバータは設置場所に制約のあるエレベータなどに適用されている。

UPS ではコンピュータのダウンサイジング，分散配置化に伴い，UPS の設置場所は電気室→コンピュータ室→オフィス→ SOHO（Small Office Home Office）へと多様化しており，UPS の小型化が求められている。特に小容量域の UPS では，コンピュータシステムをはじめとする各種負荷装置に内蔵して使用されるケースが拡大しており，一層の小型化あるいは薄型化が望まれている。UPS の小型化はスイッチングデバイスの高周波化とともに正弦波化フィルタ部品（リアクトル，コンデンサ）の小型化により実現されてきた。さらに最近では，上述のように容量に応じた高周波絶縁方式，非絶縁方式の採用などの主回路構成の工夫により大幅な小型化が実現されている。

2.4　システム化技術

設備・機械を統括制御する PLC とインバータ・サーボシステムをシリアル通信により接続し電動機の運転指令，回転速度などを PLC から指令を与え，またモニタリングなどの目的で駆動装置の運転状態を PLC に渡す通信機能は，インバータ・サーボシステムでは不可欠の機能になってきている。また機械の状態により，各種ファンクションを通信にて書き換えて使用することにより，従来の PIO 接続では実現困難な，機械の高性能化・高機能化，システム信頼性の向上を図った。

通信の種類として，汎用通信の RS-485，オープンネットワークである DeviceNet，Profibus-DP などへの対応，ならびに富士電機独自の高速リンクである SX バス，および T リンクなどに対応している。

高性能ベクトルインバータにおいては PLC の言語でユーザーがインバータ内部の諸データを使用し，オリジナルな制御システムを構築できるテクノロジーカードを商品化した。これは機械の高性能化に伴いインバータと PLC 間で 1 ms レベルのタスクで同期をとる制御の必要性がある場合，制御ノウハウをユーザー内部にとどめたい場合，インバータ周辺の制御はインバータ側で分散させるシステム構成とする場合などに適用している。また，このテクノロジーカードを有するインバータをマスタとしたインバータ間の高速通信（最大12台）を併用することで分散形制御システムの構築も可能になった。

UPS では，コンピュータネットワークの急拡大に伴って，ネットワークに使用される UPS が急速に普及するとともに，ネットワークとのコミュニケーションが UPS の不可欠な機能となっている。小容量域の UPS では，RS-232C のシリアル通信インタフェースを装備し，この信号を受けて UPS とネットワーク上のコンピュータを管理するソフトウェアをコンピュータ側にインストールしてネットワークとのコミュニケーションを実現している。この UPS 管理ソフトウェアとして，Windows〈注1〉，UNIX〈注2〉，LINUX などの各種ネットワーク OS への対応と同時にマルチサーバシャットダウン，スケジューリング運転，UPS リアルタイムモニタリングをはじめとするネットワークの安定稼動を実現するための各種機能を搭載したソフトウェア「NetpowerView F」を提供している。

ネットワークとのコミュニケーションを実現するもう一つの手段として，SNMP（Simple Network Management Protocol）による方法がある。前述のシリアル通信方式では RS-232C 信号を受けるコンピュータ経由でネットワークに接続されるのに対して，SNMP 方式では直接ネットワークに接続され，他のネットワーク機器と同様に遠隔からの管理を可能にしている。小容量域の UPS では，オプションカードスロットを装備して SNMP カードが搭載できる構成としている。

3　富士電機の製品系列

富士電機は，パワー素子の供給メーカーであることをフルに活用し，汎用インバータ，高性能ベクトルインバータ，サーボシステムから UPS に至るまで豊富な製品系列を用意しており，広範囲の用途で最適な機種が選択できるようにした。

3.1　インバータの製品系列

表 1 に富士電機製インバータの機種系列を示す。

汎用インバータは11シリーズとして系列完備した。S11，C11，E11，P11，G11，H11 の 6 機種群からなり，小容量簡易可変速制御から高性能・多機能インバータさらには高周波インバータなど 11 シリーズとして統一した考え方のもとに機種系列を整備した。

高性能ベクトルインバータ VG シリーズはシステム対応機能の充実を図り，VG7 へモデルチェンジした。同期電動機と専用インバータを組み合わせ高効率運転を実現する FESPAC シリーズ，搬送機械分野などに有効な電源回生機能付きコンバータ分離形の MG5 シリーズなどを新規に系列追加した。

各種適用におけるユーザーのメリットを追求し，性能・機能向上を図ったインバータおよびオプションの製品化により，インバータの適用範囲はますます拡大している。

3.2　サーボシステムの製品系列

表 2 に富士電機製サーボシステムの機種系列を示す。

電動機の小型化と低慣性モーメント化により，業界トップレベルの高応答化を実現し，かつ機械の振動を大幅に低減させる制振制御機能など最新の技術を搭載した，新型サーボシステム FALDIC-α シリーズを追加系列化した。

〈注 1〉Windows：米国 Microsoft Corp. の登録商標

〈注 2〉UNIX：X/Open Company Ltd. がライセンスしている米国ならびに他の国における登録商標

表１　富士電機製インバータの機種系列一覧

機種区分	シリーズ	電源電圧	容量系列（kW） 0.1　1　10　100 1,000	周波数制御範囲（Hz） 100　1,000 10,000	主な特長
汎用インバータ	FVR-S11S	三相　200 V 単相　200 V	0.1 0.75 0.1 0.4	120 120	簡易可変速用インバータ ○ボリューム操作形，端子台信号制御形，シリアル通信制御形の3タイプを用意
	FVR-C11S	単相　100 V 単相　200 V 三相　200 V	0.1 0.75 0.1 2.2 0.1 3.7	120 120 120	コンパクト型インバータ ○PID制御標準装備 ○周波数設定ボリューム標準装備
	FVR-E11S	単相　200 V 三相　200 V 三相　400 V	0.1 2.2 0.1 7.5 0.4 7.5	400 400 400	高性能コンパクト型インバータ ○始動トルク：200% ○PID制御，RS-485標準装備
	FRENIC 5000G11S	三相　200 V 三相　400 V	0.2 90 0.4 400	400 400	高性能・多機能インバータ ○始動トルク：200% ○PID制御，RS-485標準装備 ○制御電源補助入力標準装備 ○オプションカードと PG 付き電動機で高性能ベクトル制御
	FRENIC 5000P11S	三相　200 V 三相　400 V	5.5 110 5.5 500	120 120	二乗低減トルク負荷専用 ○PID制御，RS-485標準装備 ○制御電源補助入力標準装備 ○自動省エネルギー機能で高効率運転
高周波インバータ	FRENIC 5000H11S	三相　200 V	0.75 18.5	1,667	PWM 制御技術を駆使した高周波専用インバータ
高性能ベクトル制御インバータ	FRENIC 5000VG7S	三相　200 V 三相　400 V	0.75 90 3.7 400	200 200	一般産業用高性能ベクトル制御インバータ ○高速応答の速度制御 ○トルク制御 ○制御オプションなどシステム機能の充実
電源回生機能付きインバータ	FRENIC 5000MG5	三相　200 V	3.7 45	333	電源回生機能付き一般産業用インバータ ○コンバータの分離（発電制動，電源回生制動の選択が可能）
工作機械主軸駆動用インバータ	FRENIC 5000MS5	三相　200 V 三相　400 V	0.75 45 1.5 15	270 270	工作機械主軸駆動用インバータ ○M5（PG なしトルクベクトル制御）とV5（PG 付きベクトル制御）の二つの制御方式 ○コンバータの分離（発電制動，電源回生制動の選択が可能）
薄型インバータ	FRENIC 5000VG7F	三相　200 V 三相　400 V	5.5 11 5.5 15	200 200	奥行寸法 90 mmの専用薄型インバータ
省エネルギー同期電動機およびインバータシステム	FESPAC	三相　200 V	0.2 7.5	360	同期電動機と省エネルギー制御を搭載した専用インバータのシステム ○高効率運転 ○磁極センサなし・ありで，ファンポンプ用，一般機械用の2系列
電源回生PWMコンバータ	RHC	三相　200 V 三相　400 V	7.5 55 7.5 400	50 60 50 60	電源回生用コンバータ ○高効率で電源回生 ○入力高調波電流の低減

FAL DIC-αシリーズの高性能化と制振制御機能により，半導体製造装置，電子部品加工装置，各種ロボット，ハーネス加工機ほかで機械のタクトタイム短縮と機械の低振動化に貢献している。

3.3　UPS の製品系列

表３に富士電機製 UPS の標準機種系列を示す。

小容量のミニ UPS の系列では，常時インバータ給電方式のＪシリーズと常時商用給電方式の NetpowerProtect シリーズを系列化しているが，Ｊシリーズはコンピュータのダウンサイジングに対応して業界トップレベルの小型化を実現すると同時に，１～３kVA 機では縦置き・横置き兼用としてラックマウントにも対応できる構造としている。NetpowerProtect シリーズは，ネットワークシステムへの対応をより充実すると同時に，シンプルな回路構成の採用などにより高信頼化と低価格化を追求している。

中容量 UPS 650 シリーズでは，従来からの高性能・高信頼性を確保しながら，コンピュータのダウンサイジングに対応して大幅な小型・軽量化を実現している。大容量 UPS 600 シリーズは，金融機関の大規模オンラインシステム，インターネットデータセンターなど，より高い信頼性が求められる分野への適用を狙って，無瞬断バックアップ運転，並列冗長運転など各種の高信頼システムが構築できる機能を備えている。

表２　富士電機製サーボシステムの機種系列一覧

シリーズ名称	適用電動機	容量系列（kW） 0.1　1　10	定格/最高回転速度（r/min） 1,000　3,000　5,000	主な特長
FALDIC-α ① V タイプ （パルス指令，速度制御用） ② L タイプ （直線位置決め用） ③ R タイプ （回転割出し用）	GYC モータ （低慣性キュービック形） GYS モータ （低慣性スリム形）	0.1　2 0.05　5	3,000/5,000 3,000/5,000	①周波数応答が600 Hz で業界トップレベル ②機械振動を最小にする制振制御が可能 ③原点復帰不要のＡＢＳエンコーダ標準搭載かつエンコーダ－アンプ間はシリアル省配線化 ④電動機は低慣性タイプで軸方向最小のキュービック形と直径が最小のスリム形が選択可能 ⑤用途別の機種系列（V，L，Rタイプ）を用意。各機種とも上記電動機の組合せは自由 ⑥富士電機製PLC－アンプ間は高速シリアルバス（SXバス）による省配線化，情報の共有化を実現
FALDIC-Ⅱ ① V タイプ ② L タイプ ③ R タイプ	GRH モータ （中慣性タイプ） GRK モータ （高慣性タイプ）	0.3　2.7 0.05　3.7	3,000/3,000 2,000/2,500	①周波数応答は100 Hz ②電動機は中慣性タイプで高剛性対応 ③用途別の機種系列（V，L，Rタイプ）を用意 ④富士電機製PLC－アンプ間はシリアル省配線化
FALDIC-IM	MPF シリーズモータ （専用誘導電動機）	2.2　37	1,500/2,000	①大型機械の位置決め用途 ②周波数応答は 80 Hz ③富士電機製PLC－アンプ間はシリアル省配線化
ディジタル ES モータ （速度制御用）	GRK モータ （高慣性タイプ）	0.05　3.7	2,000/2,500	①負荷慣性モーメントが大きい機械に適用 ②速度制御，パルス列位置決めが可能 ③電動機は汎用電動機と取付け互換性あり

表３　富士電機製 UPS の標準機種系列一覧

方式	シリーズ名称	出力相数	容量系列（kVA） 0.1　1　10　100　1,000	主な特長
常時インバータ給電方式	J	単相	1　10	小型・高性能ミニ UPS ○縦置き・横置き兼用でラックマウントにも対応（1～3 kVA） ○RS-232C，WindowsNT 対応接点インタフェース標準装備 ○前面からのバッテリー引出し，ホットスワップ可
	650-C/1	単相	10　50	小型・高性能中容量 UPS ○入出力間の絶縁を確保しながら超小型，軽量化を実現 ○入力高調波電流抑制，出力電圧瞬時値制御 ○バッテリー寿命表示，バッテリー自己診断機能搭載
	650-C/3	三相	10　50	
	600-B/1	単相	75　100	高信頼・高性能大容量 UPS ○入力高調波電流抑制，出力電圧瞬時値制御 ○無瞬断バックアップ運転，並列運転，並列冗長運転などの各種高信頼システムの構築が可能 ○リモートメンテナンスシステム（電話回線経由），リモートモニタ機能（RS-232C）
	600-B/3	三相	75　200	
	600-A/3	三相	250　1,500	
	7000F	三相	20　200	海外電圧（三相 380/415 V）対応小型・高性能 UPS ○入力高調波電流抑制，出力電圧瞬時値制御 ○並列冗長運転対応
常時商用給電方式	Netpower Protect	単相	0.5　3	ネットワーク対応小型・高信頼ミニ UPS ○RS-232C，WindowsNT 対応接点インタフェース標準装備，新 UPS 管理ソフトウェア：NetpowerView F に対応 ○前面からのバッテリー引出し，ホットスワップ可
	多機能SPS	単相	30　1,000	高効率・多機能中・大容量 SPS ○停電対策と高調波電流対策を１台の電力変換装置で実現 ○電動機などの動力負荷をはじめ幅広い用途に適用が可能

4　あとがき

市場の要求にこたえ，インバータ，サーボ，UPS などの電子応用装置の小型・高性能・多機能化を図ってきた。今後予測される，オープン化あるいはシステム化の要求に向けネットワーク機能の充実を図っていく所存である。

近い将来，すべての機器あるいは装置がネットワークに接続され，その稼動状況がネットワークを介して統合コントローラに情報を提供するシステムが実用化されるものと考える。これらの新しい流れはまだ緒についたばかりであるが，ユーザーとメーカーが連携することにより，最適なシステムが構築できるものと確信する。今後ともユーザー各位のご指導・ご鞭撻（べんたつ）をお願いする次第である。

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。