

磁気ディスク装置ビジネスへの取り組み

Fujitsu's Approach to Magnetic Hard Disk Drivers Business

富士通株式会社
ストレージプロダクト事業本部
本部長
左中 功夫 Isao Sanaka

1. はじめに

パソコン(以下、PC)産業の拡大とインターネットに代表される情報ネットワークの普及はデータ・ストレージのニーズを急速に拡大させている。現状では、これらのニーズにマッチしたコストパフォーマンスに優れたデータストレージ機器は磁気ディスク装置(通常ハードディスク装置という。以下ではHDDと表記。)以外には考えられない状況になっている。

富士通はこれまでもストレージ・サブシステム向けの高性能・高信頼性HDDを中心とするビジネスに注力してきた。しかし、1994年にPC向け等のいわゆるコモディティHDDのボリューム・ビジネスに本格的に参入する事を決定し今日に至っている。当社におけるストレージビジネスの柱は現在、サーバー用高信頼・高性能HDD: Allegroシリーズ、デスクトップ・パソコン(PC)用低価格・高性能HDD: PicoBirdシリーズ、モバイルPC用2.5インチ軽量/薄型・大容量HDD: Hornetシリーズ、の3本である。

HDD市場は従来にもまして技術開発力に牽引されている。本稿ではストレージ・ビジネスの動向を概観した後、当社のHDDビジネス・コンセプト、最新のHDD製品群の概要、海外における大量製造体制、グローバル・サプライ・チェーンの構築等を紹介する。最後に、富士通のHDD技術開発への取り組みを紹介し、HDD技術の将来を展望する。

2. 拡大するストレージ市場

HDDマーケットの著しい拡大は、1985年以降急速に拡大したパソコン(PC)ビジネスに依るところが大きい。半導体技術とHDD技術の進歩がPCビジネスの発展を支えてきたと言っても過言ではない。1998年のHDD総生産台数は約1億5000万台であるが、その総記憶容量は700 PB(ベタ・バイト=1015バイト)を超えた。¹⁾ これに対応する半導体メモリの総生産容量は9 PB弱である。データ・ストレージに関して言えば、生産能力、コストパフォーマンスの観点等からもHDDに代わり得る機器技術は見当たらない。(図-1)

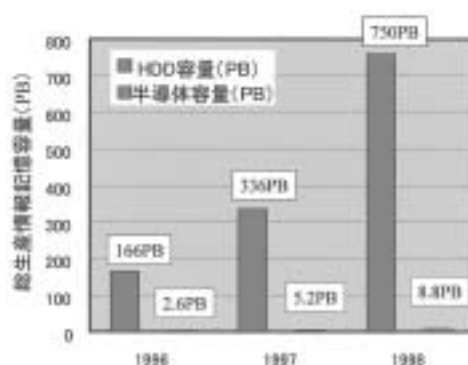


図-1 総生産情報記憶容量の推移 (HDDvsDRAM)
Fig.1 Annual Products of information storage capacity (HDDvsDRAM)

1994年に当社がHDDのコモディティビジネスに参入を決断した時点と比較すると、ビジネスの状況は非常に大きく変化しているが、HDD技術の大きな流れそのものは依然として強い勢いを保っている。90年代初めMR(磁気抵抗)型ヘッド等新しい技術が導入されたことによりHDDは激しい記録密度向上の競争に突入した。²⁾ ストレージ・マーケットでは如何に高性能なHDDをタイムリーに、かつ低化価格に提供できるかが競争の鍵を握っている。

パフォーマンス市場では依然として高性能・大容量HDDへのニーズが高い。ネットワーク・サーバー、PCサーバ市場の拡大に伴いボリューム・ビジネスの性格をも帯びてきた。今後も数量的に拡大が期待できる分野である。しかし、デスクトップPC用3.5インチATA(AT-Attachment)機が大容量化・高性能化し、性能的にはサーバー用SCSI(Small Computer System Interface)機との差が少なくなってきたことも事実である。SCSI機がハイパフォーマンスの座を維持するためには更なる高性能・高機能化が求められる。³⁾

デスクトップ市場は98年のPCビジネスが伸び悩んだことにより、3.5インチHDDは世界的に苦しいビジネスが続

いている。特に、家庭への浸透を狙った1,000ドルPC、サブ1,000ドルPCの台頭は、HDDに対しては非常に強いコスト低減圧力となっている。このため、HDDの生産数量は拡大を続けているにも係らず、売上高は90年代に入ってから伸びていない。(図-2) 新技術の採用等による低価格機設計とタイム・ツー・マーケット(TTM)を確保することが競争優位に立つ要となる。今後は、年率80%で増大する大記憶容量を武器に、HDDはWeb-TVやデジタル家電など新しい市場を開拓する必要がある。⁴⁾

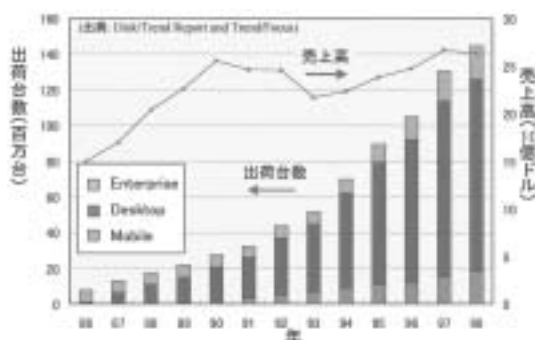


図-2 HDD World Wide 売上高・出荷台数推移
Fig.2 The trend of world wide HDD business

モバイル市場はB5薄型ノートPCがマーケットに歓迎されたことにより、2.5インチHDDにおいても大容量化、薄型化、高性能化が加速している。⁵⁾ このセグメントの特徴は、記録密度の点では最先端の技術を駆使し、3.5インチのデスクトップ機に匹敵する記憶容量を達成していることであろう。

モバイルHDD市場はノートPC以外にも新しい各種携帯情報機器への搭載が期待される分野である。カー・ナビの急速な普及は、よりインテリジェントな環境を構築するために、HDDを自動車に搭載したいとする要望を高めている。過酷な車載環境や耐用年数の問題等、HDDにとっては克服すべき課題は多い。また、高密度記録技術の更なる進展は、デジタルカメラ用等の、さらに小径HDD市場を拓く可能性を秘めている。

3. 富士通のボリュームビジネスへの取り組み

これらのストレージ・ビジネス動向に対応すべく、富士通はHDD技術の開発力を強化するとともに、HDD大量製造体制の拡充に着手した。1994年にタイのFujitsu Thailand Co.(FTC)においてHDD製造を開始し、次いで1996年フィ

リピンにFujitsu Computer Products of Philippines (FCPP)を新設しHDD製造およびMRヘッド加工を開始した。米国のHDD先進各社に比べると遅れた参入ではあったが、協力会社のご協力等も頂いて、漸く月産200万台の製造体制を築くことができた。これまでの生産実績の推移を図-3に示す。¹⁾

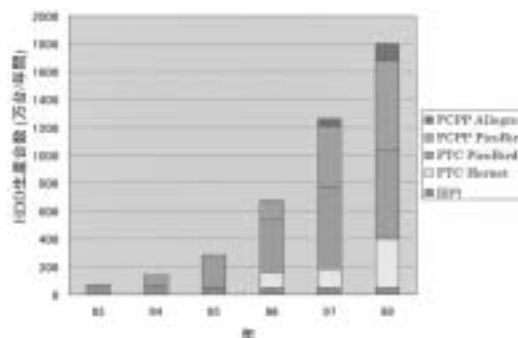


図-3 富士通におけるHDD生産能力の拡大
Fig.3 Fujitsu's shipment history of HDD

当社の強みの一つは磁気抵抗型 (Magnetoresistive:MR) ヘッドやディスク媒体の研究開発から、これらHDDのキー・コンポーネントをも製造する、いわゆる垂直統合型の企業であることであろう。したがって、HDDの大量製造体制に合わせて、磁気ヘッド・記録媒体の製造能力の拡大をも並行して進めている。

今日のHDDビジネスにおける競争力は、製品仕様・価格はもちろんのこと、顧客へのタイムリーな製品供給(カスタマイズ、品質および量)能力と、販売後のFA (Failure Analysis)・オンラインサポート等顧客対応力が強く評価される。サプライ・チェーン・マネジメント(SCM)体制の整備とワールドワイドなサポート体制の構築と強化を図り、顧客満足度においても競争優位を確立していきたい。

・製品競争力の確保

富士通はHDDの3主要ビジネス・セグメント、すなわち1) エンタープライズ、2) デスクトップ、3) モバイルの各分野全てに注力している。(図-4) 急速な記憶容量拡大により、ビデオ機器用のHDD市場がデジタル家電から立ち上がる気運がある。今後はこれらのニーズにも応えて行きたい。

Allegro-5シリーズ

従来のサーバー用の領域ではHDDが小型低価格化したことによりディスク・アレイ化(あるいはRAID: Redundant Arrays of Independent Disksという。)が急速に進んだ。当

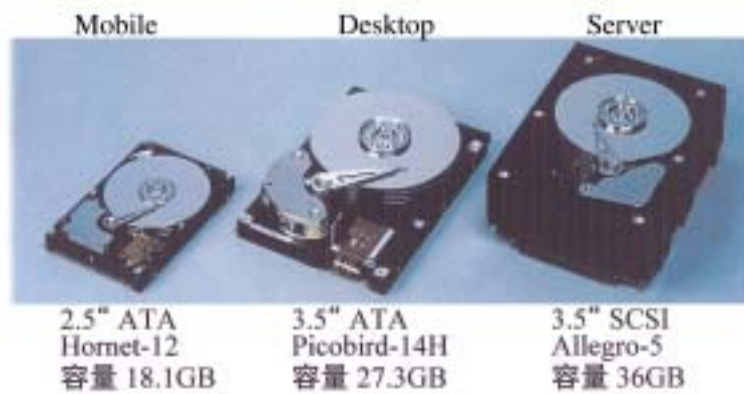


図-4 HDDのビジネスセグメントと富士通の対応機種
Fig.4 Business segment of HDD, and corresponding Fujitsu's products

初コモディティHDDであっても高性能かつ高いシステム信頼性を確保できることがRAIDのキャッチフレーズであった。しかし、サーバー用のシステムでは大容量かつ高性能・高信頼性SCSI・HDDを求めている。

このニーズに応えるため富士通では大容量、高速アクセス、高速転送、高信頼性等を特長とする3.5インチHDD: アレグロ(Allegro)シリーズを提供してきた。⁶⁾ 当社は現在、最大36.2GBの記憶容量と10,000回転/分の高速回転、内部データ転送速度が最大44.7MB/秒のAllegro-5Eを提供している。³⁾ これは高性能インタフェースUltra-2 SCSIだけでなく、シリアルインタフェースFC-AL(Fibre Channel-Arbitrated Loop)にも対応し、世界最高クラスの性能を誇るHDDである。

PicoBird-14シリーズ

デスクトップ市場はボリュームビジネスが特徴であり、年間1億台以上の巨大マーケットである。当社は1994年から、後発組ではあるが大容量・低コスト機をタイムリーに投入して生産拡大に努めてきた。その結果、1997年には3.5インチのAT機:ピコバード(Pico-Bird)シリーズの年間生産量は1千万台(シェア: 11.3%)を突破した。

今回、Giant-MR(G-MR)ヘッド等の最先端技術を採用しディスク4枚内蔵で27.3GBの大容量を達成しただけでなく、ディスク回転数を従来のSCSI機と同等の7,200rpmとした低価格・高性能機PicoBird-14Hを発表した。インタフェースについてはUltra DMA66をサポートしている。ディスク1枚当たりの記憶容量が10GBを超えるのは時間の問題である。AT機は映像用の等AVサーバー用のプライマリ・ストレージとして急速にマーケットが開くことが期待されている。⁷⁾

Horne-12シリーズ

ノート型PCでは軽量・薄型2.5インチHDDが搭載される。2.5インチHDDの特徴は、最先端かつ最高の磁気記録技術が真っ先に適用されるHDDのテクノロジー・リーダーとなった事であろう。その意味では各社の開発技術力の尺度にもなる。当社はホーネット(Hornet)シリーズをタイムリーに提供することに注力してきた。⁵⁾ 今回、世界最高レベルの9.3ギガビット/平方インチの技術を採用し、最大18.1GBを実現したHN-12を発表した。サブ・ノートPC用の9.5mm厚の薄型2.5インチHDDにおいても12GBを超える大容量記憶を内蔵できることになった。

・研究開発力の増強

データ・ストレージを支えてきた磁気記録技術は新しい世紀を迎えることになった。90年代に入りMRヘッドが登場して以降、低ノイズ高密度媒体技術、や極低浮上ヘッド・ディスク・インタフェース(HDI)技術等、技術開発の内容は基より、製造技術そのものも非常に高い技術が必要な時代になった。研究開発から主要コンポーネントの製造、装置開発・製造までを一貫して行う、当社の利点を十分に生かすことができる状況になったと言える。

富士通では現在のほぼ10倍、1平方インチ当たり100ギガビット(Gbit)までを視野に入れた磁気ストレージ技術開発ロードマップを敷き研究開発を進めている。具体的には、高感度G-MR素子技術、高能力記録ヘッド、高密度・低ノイズ媒体技術、極低浮上ヘッドスライダ/サスペンション技術、HDI技術、信号処理技術、超精密ヘッド位置決め機構・制御技術、HDD機構技術、等々である。²⁾

・製造体制・生産管理体制の拡充

当社のHDD量産はタイ(FTC)およびフィリピン(FCPP)の2生産拠点において行っていることは先に述べた。図-5はFTCにおいてPicoBirdシリーズの各新機種種の量産を開始してから月産10万台を突破するまでに要した期間を示している。FTCでの製造開始以来2年で垂直立ち上げが可能になった様子を理解して頂けよう。1999年夏にはFTCとFCPP合わせて月産200万台体制を確立した。⁸⁾

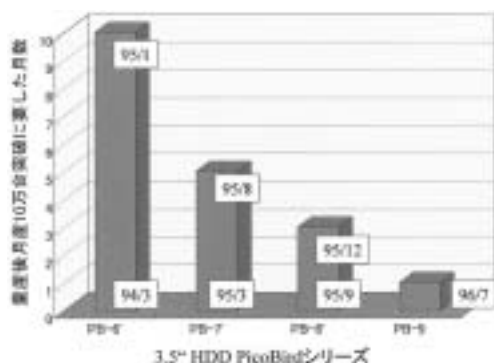


図-5 HDD量産開始後、月産10万台突破に要した月数
Fig.5 The required time to achieve 100k-units HDD production, since after into manufacturing

製品サイクルの短縮化に伴い、部品調達/物流/製造の各手番において迅速な対応が求められる。そのため、当社では各製造拠点の製造管理システムの構築を手始めに、生産管理システムの連携とデータ精度の向上を図って来た。⁹⁾ 図-6は当社の99年当初におけるHDD事業関連のサプライ・チェーン・マネージメント(SCM)システムの概要である。ボリュームビジネスへの対応力を強化するとともに、顧客満足度の一層の充実を図って行きたい。

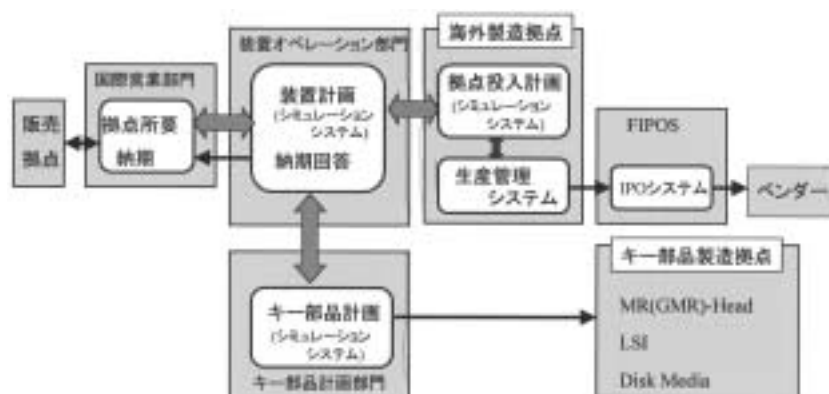


図-6 富士通におけるHDDのグローバル・サプライチェーン・マネージメント・システム
Fig.6 Supply chain management system for Fujitsu's HDD business

・カスタマ・サポートの充実

HDDの大部分はOEM顧客を対象とするビジネスである。そのため富士通では顧客へのサービス体制強化にも務めている。すなわち、製品のカスタマイズ力とその性能評価力の強化はもちろんのこと、顧客先でのHDD障害原因の解析 (Failure Analysis: FA) を行う等オンサイト・サポート体制の強化を進めている。障害診断・解析ツールの開発と普及、FA情報の一元化・迅速化の一層の充実に努めサービス向上を図って行く。

・キーコンポーネントの製造

今日の厳しいHDDビジネス競争に対応するためには、技術開発力とともにコスト競争力を持つ必要がある。今日のMR(G-MR)ヘッドやディスク媒体の製造ラインは半導体のそれと類似の構成になった。したがって、ヘッドやディスクはある程度大量に製造しなければ、習熟カーブに沿ってコストを下げることはできない。垂直統合企業の強みは開発技術の先行メリットとともに、これらキーコンポーネントのコスト競争力にあると言われるようになった。

富士通はHDD製造能力の拡大に対応すべくMR/G-MRヘッド、およびディスク媒体の製造能力の強化を推進してきた。ヘッドのウェファー・プロセスは当社・長野工場において全数製作するが、加工・組立はFTCおよびFCPPにおいて行い、現在の月産500万個体制から2001年には1,000万個体制に持っていきたい。ディスク媒体は、山形富士通と本年稼働を開始したフィリピン(FCPP)との2拠点体制に集約し、2001年には月産400万枚体制を確立したい。

4. 磁気ディスク装置技術の展開

1956年にIBM社が最初のHDD: RAMAC (1台当たりの記憶容量: 5Mバイト、記録密度: 2kビット/平方インチ)を導入して以来、その磁気記録密度の向上は500万倍以上に達している。これは年率にすると43%の記録密度向上に相当する。記録密度の向上はHDDの大容量化と小型化を実現し、HDDをコモディティ製品へと変貌させた。

HDDに限らず磁気記録装置は総合技術の結晶であると言える。HDDの主要技術としては磁気ヘッド、ディスク媒体、ヘッド・ディスク・インタフェース(HDI)、信号処理、回転機構、および位置決め機構・制御等々が挙げられる。記録密度・性能向上の技術要因がこのように多岐にわたることがHDDの記録密度が連続的・持続的に、かつ大幅に向上できた理由であろう。

中でも、1991年にMRヘッドがHDDに導入されて以来、記録密度向上の勢いは従来にもまして激しくなり年率60%を越す競争が続いている。(図-7) 当社ではMRヘッド技術を自主開発する等、技術開発力を強化しこの激しいストレージ技術の開発競争に挑んで来た。¹⁾ 1998年度から最新のG-MRヘッドや低ノイズ媒体、SFS (Stiction Free Slider)スライダ等独自技術を当社の全セグメントのHDD製品に投入し、大幅に性能・記憶容量を増大させた。²⁾

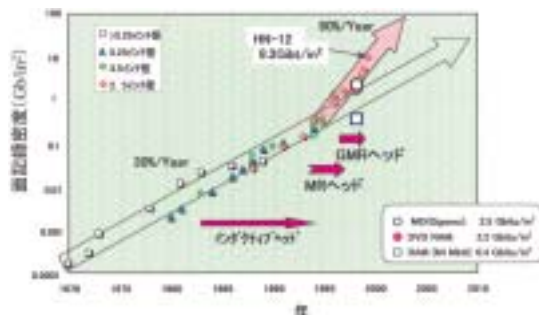


図-7 HDDにおける記録密度の向上
Fig.7 Progress of areal recording density of HDD

HDD用のMRヘッドはその研究開発が活発になってから実用化されるまで20余年を要したが、G-MRヘッドは金属超格子膜による基本データが1987年に学会発表されてからわずか10年で実用化に至った新しい技術である。富士通は、これまでも1平方インチ当り5Gビット記録、8Gビット記録等の技術を世界に先駆けて発表してきたが、本年度(1999年)もIntermag国際会議において、世界最高の1平方インチ当り20.4Gビット記録のデモンストレーション結果を報告した。

今や磁気ヘッドや記録媒体等の主要なコンポーネントの製造技術はサブ nm (数オングストローム) オーダの薄膜形成プロセス技術や、サブミクロンのパターン形成・精密加工等を必要とする超ハイテック産業に変身した。磁気ヘッドの浮上隙間も20 nm時代に突入している。

最近の高感度SVヘッドの登場により、信号処理上のSNRを左右するノイズ源は記録媒体であるとされている。記録媒体ノイズは磁性結晶粒を微細化することと、結晶粒間の磁気交換エネルギーを低減することで低減できることがわかっている。しかし、結晶粒の微細化を進めると結晶粒の体積が減少し、結晶磁化が不安定になる。強磁性体材料であっても粒子サイズが小さくなることによって磁性を失うことをスーパー・パラマグネティズムという。これは物理限界なので磁気記録の高密度化もこれで終わり、との議論が高まった。¹⁰⁾

10Gb/in²以上の高密度媒体開発の過程で記録磁化の不安定性(即ち、磁化の熱揺らぎ)が顕在化しているとの報告が多い。最近当社が発表した20Gb/in²デモにおいて使用した記録媒体は、CoCrPt系合金で大幅な低ノイズ化と熱安定性を実現したものである。¹¹⁾ 物理限界とされた記録限界は年々高密度側に修正されているのが現状である。各種の代替え技術が将来の高密度記録技術として取り上げられているが、HDDの性能や産業規模をまかなえる程の記録技術は見当たらないのが実状である。(図-8)

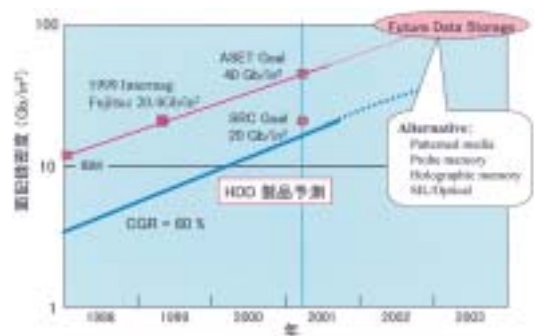


図-8 超高密度記録の将来
Fig.8 Future prospects of high density recording

最近では、100Gb/in²以上が磁気記録で達成できると見なされるようになった。とは言え、今後のストレージ技術の開発・製品化は容易な路ではない。技術内容の高度化は勿論のこと、磁気ヘッド・記録媒体等の製造設備・研究開発に要する投資規模も半導体プロセス技術に匹敵するようになってきた。我が国のHDD産業界の技術競争力を強

化するためには、企業努力はもとより大学等のストレージ関連の研究開発力強化、さらには人材の育成が必須の要件ではなからうか。当社では、ストレージ技術者間の研究協力と大学への研究助成とを目的に設立された情報ストレージ研究推進機構（通称SRC、1995年設立）等のコンソーシアム活動にも積極的に取り組んでいる。¹²⁾ 今後とも更なる高密度・高性能ストレージ技術確立のため研究開発には注力して行きたい。

5. おわりに

富士通は1994年以来HDDのボリュームビジネスに参入した。技術開発競争の激しい分野ではあるが、将来ともに磁気ストレージ技術に代わりうる技術は見当たらない。富士通は今後ともHDDストレージ発展のために、技術開発力の強化を継続するとともに、製造体制の整備・充実に図って行きたい。また、オンサイト・サポート体制の充実と、SCMシステムの整備を進め、お客様に満足頂けるようなHDDを提供することによって、HDDビジネスの競争優位を図って行きたい。

<参考文献>

- 1) 左中功夫、FUJITSU, 50, 1, pp.1-5, (1999)
- 2) 溝下義文、FUJITSU, 50, 1, pp. 14-21 (1999)
- 3) 関野光久、FUJITSU, 50, 1, pp. 22-27 (1999)
- 4) 八木教雄、FUJITSU, 50, 1, pp. 28-32 (1999)
- 5) 江森照明、FUJITSU, 50, 1, pp. 33-37 (1999)
- 6) 根来俊夫、長田元行、間瀬広行、FUJITSU, 46, 4, pp.372-382 (1995)
- 7) 今井拓司、高橋史忠、日経エレクトロニクス、No. 742, pp. 93-114, 1999年5月3日号
- 8) 長倉史明、FUJITSU, 50, 1, pp. 38-42 (1999)
- 9) 梅本明嗣、FUJITSU, 50, 1, pp. 43-49 (1999)
- 10) 仲森智博、高橋史忠、日経エレクトロニクス、No. 665, pp. 91-111, 1996年7月1日号
- 11) 今井拓司、日経エレクトロニクス、No. 745, pp. 49-56, 1999年6月14日号
- 12) 三浦義正、機械振興, 1997年2月号, pp.40-468

筆者紹介



左中 功夫（さなか いさお）

1963年富士通株式会社入社。
以来、コンピュータメインフレームやオフコンの開発に従事。1992年よりストレージプロダクト事業本部長に就任、記憶装置（HDD/MO）ビジネスを担当し、現在に至る。