「仮想化技術とクラウドコンピューティング～データセンターを巡る技術動向」

市川類@JETRO/IPA NY

１．はじめに

近年、様々な情報がデジタル化され、インターネット等を通じてやりとりされるなど IT 化が進展し、これにより、新たなサービスが次々と提供され、人々の生活を変えつつある。一方、そのような IT 化の進展に伴い、それと表裏一体の関係で、情報の計算（コンピューティング）の量は急激に増大しており、そのような計算を実施するために必要なサーバ等が増大するとともに、それらを集約するデータセンターが急速に拡大しつつある。

このデータセンターの拡大は、これまでの情報の計算（コンピューティング）に係る世界に大きな変化を与えつつある。すなわち、データセンターは、その消費電力の大きさから、環境・エネルギーの観点からの問題が指摘され、喫緊の対応が求められるとともに、それらがインターネットに接続されることにより、データセンターの集合自体が巨大な並列コンピュータのような機能を果たす方向に動きつつあり、かつての大型コンピュータから PC への移行に相当するような、世界のコンピューティングのパラダイムが大きく変化する兆候を示している。

そして、このようなデータセンターに係る環境問題対応やパラダイムの変化に係る技術を牽引しているのが、米国の IT 企業やインターネットサービス企業であると見ることができる。

このような問題認識の下、本報告書では、米国内におけるデータセンターを巡る動向に加え、上記に流れの鍵となる技術として、仮想化技術、クラウドコンピューティングの動向について解説する。

２．データセンターを巡る動向

（１）ＩＴ化の進展とデータセンターの拡大

近年、世界中において、各種の情報がデジタル化、ネットワーク化されるなど IT 化が進展するにつれ、それに伴う計算量が爆発的に増大しつつある。例えば、IT のユーザ企業では、BI などに代表されるように、顧客等に係る各種の多量の情報が処理されるようになってきており、企業における情報処理の量は増大の一途を辿っている。また、インターネット関連企業においては、検索技術により世界中のホームページのデータを保存し、それを消費者の要求に応じて瞬時に回答できる仕組みを構築したり、ターゲティング広告などにより個別消費者ごと履歴も

含めた情報処理を行ったりするなど、インターネットを通じて多量かつ高度な計算処理がなされるようになってきている。

これらの IT の進展については、一般的に、それらの技術によるビジネスとしての斬新性や、社会や生活に与える影響などの「フロント部分」が脚光を浴びる傾向にあるが、一方、このようなサービスを提供するためには、それらに必要な計算を行うだけの大型高速の計算能力を確保すること、すなわち、いわゆる「バック部分」の技術の進化が、表裏一体として進展しつつあることにも注目することが必要である。

このようなバック部分としての計算能力の確保の観点から、世界各国でデータセンターが拡大している。データセンターとは、サーバやストレージ、ネットワーク機器などを集中して設置し、それらに対してインターネット接続などの各種通信網へのアクセスを提供するサービスを提供する場のことであり、高度なセキュリティ体制、対災害体制が併せて構築されている。

各企業における計算（コンピューティング）機能が急速に増大するにあたって、単に企業内にサーバ等を設置するのではなく、データセンターを独立に設置し、インターネットを含む通信アクセスを通じて、集中して管理しようという流れがあり、データセンターの存在は、ビジネスやコミュニケーション、学界、政府などの様々なシステムの中でますます重要になってきている。

IDC によると、2007 年の全米のサーバ総数は、10 年前の 260 万台から、1,180 万台に急激に増加しており、同年の世界のサーバ総数（3,030 万台）の３分の１以上を占めるに到っている。また、サーバ数の増加に伴い、米国のデータセンターの数は 6,600 件に達しているとされ[1]、このデータセンターの規模・数は、日々増加していると見られている。今後のインターネットの進展の方向を踏まえると、産業内のほぼ全てのセクタにおいてデータセンターが不可欠な存在となっており、各種サーバ等の増大と、それらの集積の進展に伴うデータセンターの拡大は、必然かつ不可避の流れであると考えられ、その需要は今後もますます拡大していくと考えられる[2]。

---

[1] http://www.treehugger.com/files/2008/06/data-centers-computer-servers-energy-usage-statistics.php
ニューヨークタイムズ紙 2008 年 6 月 18 日付け *Demand for Data Puts Engineers in Spotlight*
http://www.nytimes.com/2008/06/17/technology/17data.html?_r=3&adxnnl=1&oref=slogin&adxnnlx=1214244269-qO3tDFteHyZ+aM72SYItbw
なお、具体的に、データセンターがどの程度の規模で増加しているのかに関するデータは、公表資料では入手できなかった。

[2] http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/EPA_Report_Exec_Summary_Final.pdf

（２）データセンターを巡る産業構造の変化

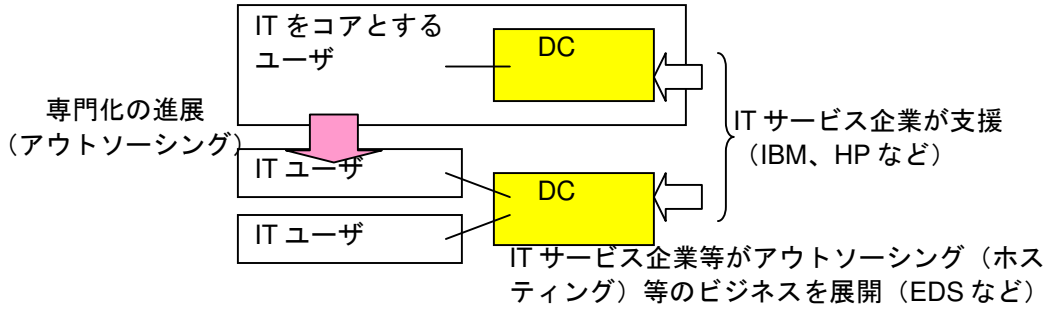
＜従来の IT ユーザとデータセンター＞

もともとデータセンターは、従来は、IT を多く活用するユーザ企業が利用するものとして発展してきたが、近年インターネットサービス企業の台頭、及び、専門化に伴う分業化の進展に伴い、その産業構造が変化しつつある。

IT を利用するユーザ企業においては、これまで、IT を利用するために必要なサーバ等のコンピュータ資源は、一般的には自社内に置くことによって対応してきており、また、金融業界など多くのコンピュータ資源を活用するユーザ企業においては、その多量のデータを扱う必要性から、それをデータセンターとして集中かつ独立して管理することによって対応してきた。その際、このようなデータセンターの設置に関しては、IT サービス企業などが、ハードウェアの提供も含めて、サービスとして技術を提供してきた。なお、この場合、企業とデータセンターは、主に専用回線を通じて接続されることになる。

近年、ユーザ企業における IT の利用が増大するにつれ、特に、当該データセンターの管理業務が当該企業にとってコアではないような場合には、その機能を分業化し、データセンター等の専門的に運営をする IT サービス企業等にアウトソーシング（場所のみを借り入れるホスティングも含む）する場合も多く生じてきている。また、マネジメントの効率化などの利点ともあいまって、データセンターの統合整理の流れが加速している[3]。このような中、データセンターも含めた計算機能のみをビジネスとして、複数の IT ユーザ企業から請け負うビジネスも登場してきている。

IT ユーザとデータセンター



＜インターネットの進展とデータセンター＞

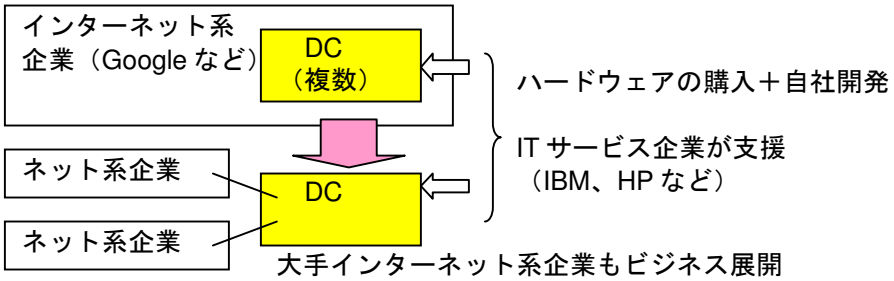
このような一般の IT ユーザが利用するデータセンターに対し、近年、インターネットサービス企業によるデータセンターが、インターネットの進展に伴い急激に拡大してきている。例えば、Google など大手のインターネットサービス企業は、

[3] http://www.aperture.com/enterprise_strategies/data_center_consolidation.php

ビジネスを行うにあたって、フロントの技術のみだけでなく、それに必要な多くの計算を行う基盤として、多くのデータセンターを自ら設置してきている。その際、これらに係る技術は、当該企業にとってのコアの技術であるとの位置付けの下、ハードウェア等については外部から購入するものの、そのために必要な技術については、自社内で開発、確立をすることが多い。

また、このようなインターネットを使ったビジネスは、大手インターネット企業だけでなく、電子商取引も含めて多くの企業（インターネット系のベンチャー企業も含む）が、新規ビジネスとして展開してきている。このような事業を新規に行う企業の多くは、これらのインフラ資源へ自ら投資するというよりは、むしろアウトソーシング（あるいは賃貸）を選ぶ傾向にある。この結果、このようなバック部分のデータセンターをホスティングサービスとして支援するビジネスが増加してきており[4]、その流れで、多数の小規模データセンターが、大規模なデータセンターに統合する動きもある[5]。また、Amazon など大手のインターネットサービス企業が、自ら確立したデータセンターに係る技術を基にして、他のネット企業等にサービスを提供する事例も出てきている。

インターネット系企業とデータセンター



一方、近年においては、上述の通り、一般的な IT ユーザ企業においても、電子商取引を含めたインターネットビジネスは、IT の一部として密接不可分なものとなりつつある。このため、上記のような一般的な IT ユーザ企業におけるデータセンターとインターネット系のデータセンターの違いは、今後少なくなる方向にあると考えられ、したがって、インターネットを中心に起きているクラウドコンピューティングと呼ばれるようなパラダイムの変化に巻き込まれる形で、統合される方向にあるものと考えられる。（第４章参照）

＜主要インターネットサービス企業のデータセンターの事例＞

[4] 例えば、テキサスに拠点を置くホスティング会社「The Planet」があるが、同社の顧客の 70%はオンラインショッピングを提供する中小企業である。
[5] http://searchdatacenter.techtarget.com/news/article/0,289142,sid80_gci1252702,00.html

Google の場合、データセンターの運営は同社の強みであるとして、データセンターの数などの詳細を企業秘密としており、正式に公表はしていない。しかしながらデータセンターに関するニュースを配信する" Data Center Knowledge"によると、2008 年 3 月現在、同社の米国内におけるデータセンターの数は 16 ヶ所（それに加えて 3 ヶ所を建設中）であり、また、米国外では、少なくとも 17 ヶ所のデータセンターを所有すると推定されている[6]。この中でも、米国内では、オレゴン州ダレス、ジョージア州アトランタ（2 ヶ所）、バージニア州レストンに位置するデータセンターは特に重要な施設と見られている。また、米国外の分布は、判明している範囲内では、ヨーロッパに 12 施設、アジアに 3 施設、ロシアと南アメリカにそれぞれ 1 施設などと欧州地域が多い。なお、現在、同社は、マレーシアや台湾地区など、アジア地区でのデータセンターの新設に焦点を当てているとの報道もある[7]。

北米におけるグーグル・データセンターの位置（推定）[8]

Microsoft も、Google と同様、データセンターの数を公開していないが、同社の Global Foundation Services 担当副社長によると、サーバ数は現在毎月 1 万台単位で増加[9]しているとしており、今後数年間は、サーバの増加数が月間 2 万台まで成

---

[6] http://www.datacenterknowledge.com/archives/2008/Mar/27/google_data_center_faq.html
http://royal.pingdom.com/?p=276
なお、New York Times (2006 年 6 月) によると、同社は、2001 年 3 月時点で 0.8 万台、2003 年時点で 10 万台、そして 2006 年 6 月時点で、世界 25 ヶ所で 45 万台のサーバを抱えてまでに拡大してきていると推測している。
http://www.nytimes.com/2006/06/14/technology/14search.html?pagewanted=1&ei=5090&en=d96a72b3c5f91c47&ex=1307937600&adxnnl=1&adxnnlx=1214846272-6JG2QKTtE1SLqmMCj9Vggg
[7] www.datacenterknowledge.com/archives/2008/Jan/29/asian_nations_battle_for_google_data_center.html
[8] 出典：http://royal.pingdom.com/?p=276
[9] http://news.cnet.com/8301-13953_3-9977197-80.html

長すると見込んでいる[10]。また、同社は 2008 年 6 月、アイオワ州デモインで、新データセンターの建設に着工すると発表した[11]。他にも同社は現在、イリノイ州ノースレークで、5 億ドルを投じて 55 万 sqf のデータセンターの建設を行っている[12]他、テキサス州サンアントニオやアイルランドのダブリンでもデータセンターを建設中とされる。

なお、Google の例に見られるように、米国のインターネット系企業が、海外にデータセンターを設置している例は見られる。実際に、エネルギーコスト（冷却費用も含む）や運営コストの観点からは、海外に設置する方が効率的な面もあるし、また、政治・制度上の観点から、海外に設置する事例も見られる。しかしながら、一般的に、物理的なインターネットの中心が米国にあること、あるいは、国内での技術囲い込み、セキュリティの確保等の観点から、データセンターを米国国内に設置する場合が多く、このため世界の中でも、インターネットサービスに競争力を有する米国において多くのデータセンターの設置されてきているものと考えられる[13]。

（３）データセンターの環境問題とその対応

＜データセンターの電力消費の増大＞

このように社会の IT 化の進展に伴い、コンピューティング機能が増大し、データセンターへの集中と拡大が進む中、それらにおいて消費される電力量が急激に増加しており、関心が高まっている。

このような問題認識の中、2006 年 12 月に成立した法律[14]に基づき、環境保護局（EPA）は、2007 年 8 月に、「サーバとデータセンターのエネルギー効率性に係る報告書」[15]を議会に提出した[16]。この報告書の主な内容は、以下の通り。

---

[10] www.datacenterknowledge.com/archives/2008/May/07/microsoft_300000_servers_in_container_farm.html

[11] http://www.datacenterknowledge.com/archives/2008/Jun/30/microsoft_confirms_iowa_data_center.html

[12] http://www.crn.com/it-channel/207801362

[13] なお、一般の IT ユーザーの場合でも、データセンターの設置に関しては、専用線等に係る通信コストに加え、例えば金融などデータ処理の瞬時性が求められるようなビジネスの場合には、本部との近距離性が求められる場合もあり、国内に設置する場合が多いとされる。

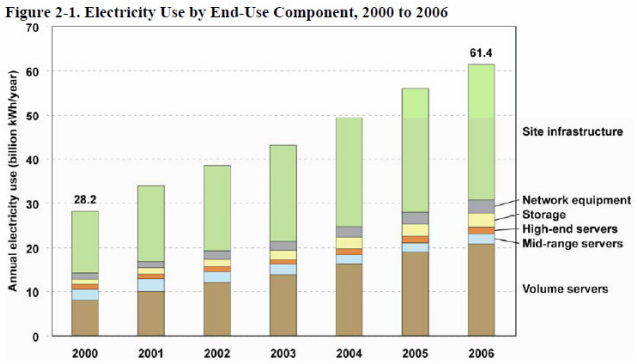
[14] Public Law 109–431、An act to study and promote the use of energy efficient computer servers in the United States.

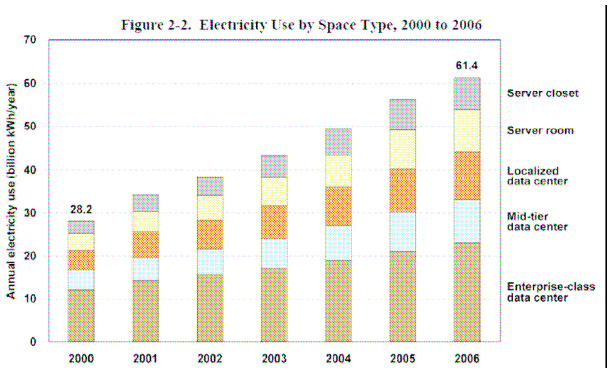
[15] http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/EPA_Report_Exec_Summary_Final.pdf

[16] 本報告書では、サーバ、データセンターでの増大に係る問題には、以下の側面があるとしている。
①ビジネス・政府にかかるエネルギーコストの増加、
②電気発生に伴う、温室効果ガスを含む排出量の増加、
③電力需要に対応するために、既存の電力網にかかる負担の増加、

- 米国内でのサーバ及びデータセンターで消費される電力量は増大傾向にある。2006 年には 610 億 kWh（米国全体での電力消費の 1.5%[17]）が消費されており[18]、この数字は 2000 年時点の 2 倍に相当する。これらに係る電力のコストは 45 億ドルであり、ピーク時で 700 万 kW の電力規模が必要となる。
- この消費電力量の内訳は、その約半分が、機器の冷却にかかる電力、電源にかかる電力など、その運営に係る電力消費（Site Infrastructure）となっている。一方、残りの半分を消費する IT 機器関連では、サーバによる電力消費が大半を占め、ネットワーク機器、ストレージに係る電力消費は、それぞれ 5%程度である。
- サイト別に見た場合、サーバ単体設置型による電力消費量も増大しているが、企業レベルの大型（数 1000 台規模）のデータセンターの消費量も増加しており、全体の 4 割弱を占める。

米国内のサーバ／データセンターの消費電力の内訳（利用種別、サイト別）[19]





- 今後、現在の増加傾向が続いた場合、データセンターでの電力消費量は毎年 12%増加し[20]、2011 年には、1,000 億 KWh を超える。

---

④データセンターの容量拡大と、新規データセンターの開設に伴う資本コストの増加

[17] この数字は、全家庭消費量の約 5%、または、運輸製造業（自動車、航空機等）の消費電力量に相当。

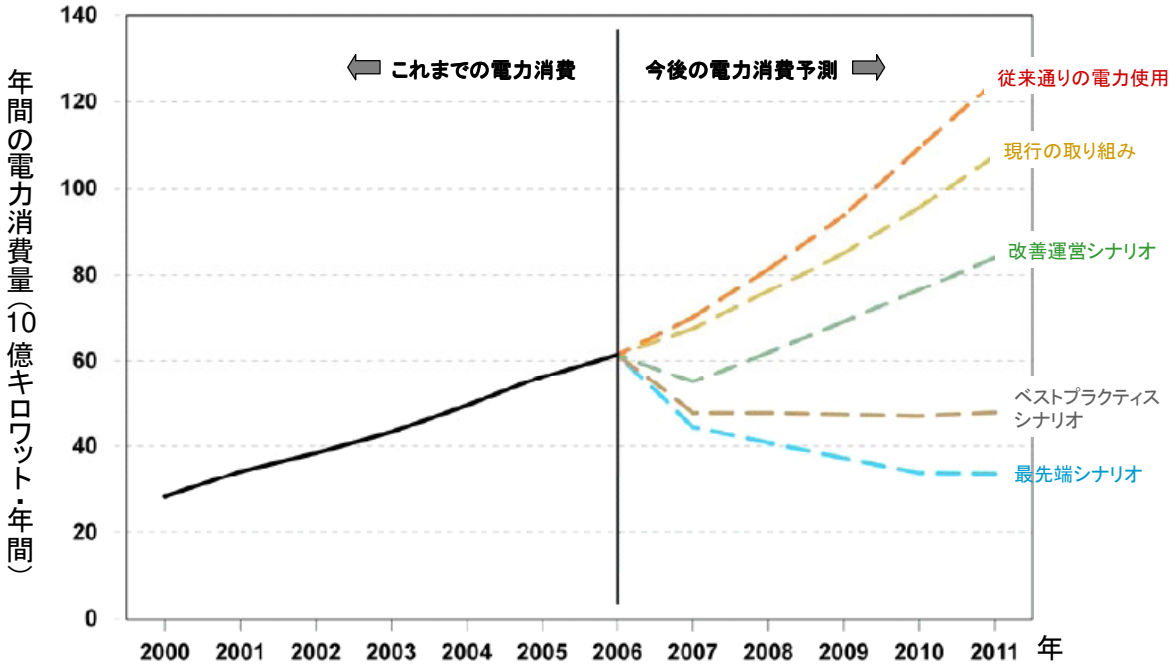
[18]なお、トロント・スター紙によると、世界全体でのデータセンターの電力消費量は 2000 年の 0.6%から、2005 年には 1%にまで上昇しているとされる。したがって、米国におけるデータセンターの電力消費量は、世界の中でも、かなり大きな割合を占めていることが分かる。
The Toronto Star, “This does not compute; Why the hot trend known as 'cloud computing' isn't necessarily good for the environment,” May 25th 2008, Obtained via Nexis

[19]http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/EPA_Datacenter_Report_Congress_Final1.pdf Fig2-1、Fig2-2
なお、ここで、Server Closet (1-2 servers), Server Room (数～10 servers), Localized data center (数 10～100 servers), Mid-tier data center (数 100 servers), Enterprise-class data center (数 100～数 1000 servers)

[20] http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/NDCFactSheet.pdf

- このような中、IT 機器関連の対策では、仮想化技術や効率的サーバの導入（電力管理機能のついたマルチコアプロセッサ等）が、また、インフラ関連の対策では、各種の熱対策に加え、高効率の電力供給装置、可変速度ファンの利用などが挙げられる。
- これらを踏まえ、3 つの改善シナリオ（更なる改善運営、ベストプラクティス導入、最先端技術導入）を想定。これらのシナリオに沿って電力消費の取り組みを行った場合、2011 年の電力消費量は、現行の取り組みが行われた場合と比較して、年間 230～740 億キロワット時節約することができるものと試算している[21]（下表参照）。

データセンターにおける消費電力量の推移と電力消費シナリオ[22]



[21] ただし、「ベストプラクティスシナリオ」、「最先端シナリオ」の実行には、データセンターの大幅な改修工事などが必要とされる。
http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/EPA_Datacenter_Report_Congress_Final1.pdf p9

[22]出典：EPA
http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/EPA_Datacenter_Report_Congress_Final1.pdf

3 つの改善シナリオの概要[23]

		現行	改善運営	ベストプラクティス	最先端技術導入
機器関連	仮想化技術(サーバ導入削減比) 仮想化困難なサーバの排除 効率的サーバの導入（割合） 電力管理対策サーバ（割合）	1.04～1.08 － 5%⇒15% 10%	1.04～1.08 5% 5%⇒15% 100%	1.33～2.0 5% 100% 100%	1.66～5.0 5% 100% 100%
インフラ関連	熱対策（PUE[24] ratio） 効率的変電、UPS[25] その他	1.9 － －	1.7 95%、80% 固定ﾌｧﾝ、湿度管理等	1.7～1.5 98%、90% 可変冷却、可変ﾌｧﾝ等	1.7～1.4 98%、95% 液体冷却、可変ﾌｧﾝ等

なお、各シナリオを比較すると、上に挙げた対策技術の中でも、仮想化技術の導入効果の大きさが推測される。実際に、EPA は、仮想化技術は、現在の傾向でも、今後 5 年間においてサーバの設置数の増加を抑える効果があるとしている[26]。

＜連邦政府の取り組み（省庁間横断・官民共同プログラム）＞

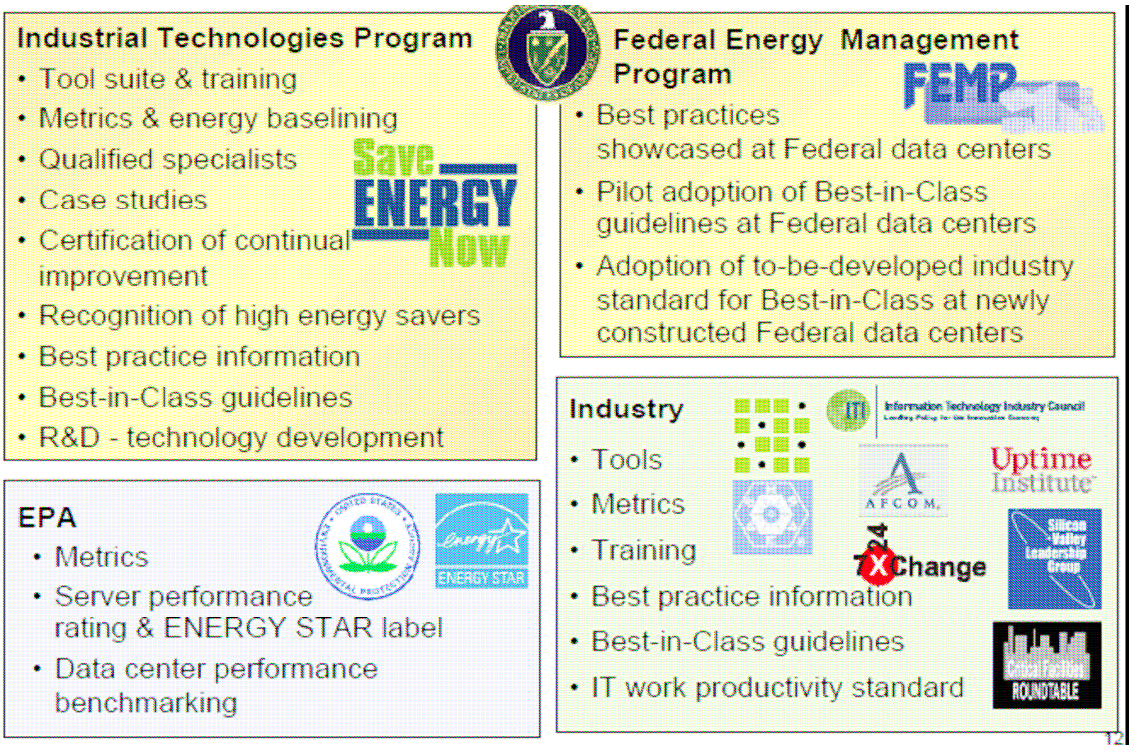
このようにデータセンターにおける電力消費量の増大が問題となり、データセンターにおける省エネが求められる中、2008 年 3 月に、エネルギー省（DOE）と環境保護局（EPA）による National Data Center Energy Efficiency Information プログラムが発足した[27]。

同プログラムでは、各機関がこれまで取り組みを進めてきたプログラム、すなわち、DOE の Industrial Technologies Program の中の Save Energy Now イニシアチブ、連邦エネルギー管理プログラム（Federal Energy Management Program：

[23]出典：EPA
http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/EPA_Datacenter_Report_Congress_Final1.pdf
（注）「現行の取り組み」（現在行われている省エネの取り組み）でいくと、2011 年までに、現状予測から10%の電力消費量削減が可能であると見込みの下、以下の3つのシナリオを想定。
・「改善運営（Improved Operation）シナリオ」：既存の資本の有効活用により、余分なコストをほとんどかけることなく、現在の省エネシナリオよりも大きな結果の達成を目指した場合。
・「ベストプラクティス（Best Practice）シナリオ」：現在、エネルギー効率が非常に良いとされているデータセンターで採用されている取り組みや技術を広く取り入れることで、更なるエネルギー効率化を目指した場合。
・「最先端（State-of-the-art）シナリオ」：現時点で利用可能な取り組みや技術を総導入することで、最大限のエネルギー効率化を目指した場合。
[24] Power Usage Efficiency
[25] Uninterruptible Power Supply
[26] なお、仮想化技術は現在、民間セクタのみならず連邦セクタでの導入も進んでおり、効果を発揮するとされている。たとえば米国郵政公社の場合、同技術の導入により、それまで 895 台あったサーバのうち、791 台を削減することが可能となった。この結果、郵政公社のデータセンターで消費される電力量は、年間350 万キロワット時にまで減少したことが、上記 EPA の報告書に記載されている。
[27] http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/NDCFactSheet.pdf

FEMP）、EPA が推進する ENERGY STAR プログラムなどと統合、調整し、産業界における取り組みとの連携を取りながら進めることとしたものである。

データセンターの省エネに向けた各プログラムの調整[28]



同プログラムでは、前述の EPA による「3 つの改善シナリオ」を念頭においた上で、主として、省エネに係る各種の標準手法・規格の開発と、機器・ベストプラクティスの認定等を通じて、データセンターの更なる省エネの促進を進めることとしている。

具体的には、以下の内容に取り組むこととしている[29]。

- 省エネの測定方法とベンチマーキングの合意
- 省エネ支援ツール開発と訓練
- データセンターのエネルギー効率化にかかわる専門家認定
- 機器性能規格とラベリング
- 最高性能のデータセンターの認定
- データセンター効率化機関の指定

[28] http://www1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/pdfs/doe_data_centers_presentation.pdf
DOE Data Center Energy Efficiency Program by Paul Scheihing, U.S. Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy May 2008

[29] http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/NDCFactSheet_Short.pdf

＜DOE における具体的な取り組み＞

DOE は、先に述べた Save Energy Now イニシアチブの中で、Data Center Energy Efficiency プログラム[30]を開始していたが、このような流れの中で、既にいくつかの取り組みを進めている。例えば、以下の通り。

- DOE は、評価指標の設立に関連して、2008 年 5 月、DOE はオンラインソフトウェア「Data Center Energy Profiler（DC Pro）」 を発表[31]。同ソフトウェアを利用することで、各企業はデータセンターでのエネルギー利用量や、潜在的に節約可能なエネルギー量を予測することができる。
- DOE のローレンス・バークレー国立研究所が発表した 67 のベストプラクティスは、データセンターにおける一般的なマネジメント・組織戦略からデータセンターのデザイン戦略までをカバーしており、データセンターでのエネルギー効率向上に役立てることができる[32]。

なお、このような取り組みにあたっては、データセンターおよびコンピューティング・エコシステムのエネルギー効率促進を目的として結成された国際コンソーシアムであるグリーン・グリッド（Green Grid Association）などの業界とも提携して進めている[33]。

（４）仮想化技術とクラウドコンピューティングの位置付け

前述の通り、データセンターを巡っては、米国を中心にその数が急速に拡大をしており、喫緊の課題としてエネルギー・環境問題に関心が高まっているとともに、IT ビジネスとしての産業構造が変化しつつある。このような中、データセンターを巡る新たな技術として、環境・エネルギー問題に関しては特に仮想化技術が、また、更にそれを延長する形で、産業構造に大きく影響を与える可能性がある技術としては、クラウドコンピューティングが関心を集めている。

以下において、上記２技術を巡る米国での動向を紹介する。

３．仮想化技術と環境問題への取り組み

（１）仮想化技術とは

＜環境対応技術・効率化技術としての仮想化技術＞

[30] http://www1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/pdfs/doe_data_centers_presentation.pdf
[31] 本バージョンは β 版であり、現在同省は 9 月の Version1.0 発表に向けた開発を進めている。
[32] ベストプラクティスは以下のサイトで閲覧可能。http://hightech.lbl.gov/datacenters-bpg.html
[33] http://www1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/partnering_data_centers.html

データセンターの省エネが求められる中、その対策としては、ボックス化を含む冷却手法などの熱対策や電源マネジメントなどが大きな役割を果たすが、それ以外の対策として注目を浴びているのが、仮想化技術（Virtualization）である。

仮想化技術とは、サーバなどのコンピュータ内におけるプロセッサ（CPU）、メモリ、ディスクなどの各資源を、その物理的な構成に拘らず、柔軟に分割・統合するソフトウェア技術である。

近年、CPU 等ハードウェア技術の劇的な高性能化により、サーバの処理能力も急激に上昇した。しかしながら、それらのハードウェア（CPU 等の各サーバ資源）の利用にあたっては、未使用の部分も多く、効率的に使用できていないのが現状である。そのような中、仮想化技術（ソフトウェア）を使用すれば、１つの物理的なサーバを複数の独立した仮想環境に分割することによって、当該未使用部分の有効活用が可能となる。この結果、仮想化技術を活用することにより、例えば１台のサーバを、あたかも複数台のサーバを利用しているように機能させる（仮想化する）ことが可能となり、したがって、同じ能力のデータセンターを構築する際、仮想化技術を積極的に活用することにより、少ない数のサーバ等で同様に対応することが可能となる。

＜仮想化技術のメリット＞

このため、仮想化技術を利用することによって、そもそも導入すべきサーバやそれに関連する IT ハードウェアの台数の削減を図ることが可能となり、また、それに伴うスペース、電力、冷却システムの節約とその結果としてのコスト削減などのメリットがある。また、それ以外にも、VMware 社[34]他によると、オペレーションの柔軟性と反応性の向上、アプリケーション利用可能性の強化とビジネス継続性の改善、デスクトップ管理とセキュリティの向上、バックアップやリカバリーにかかる時間の節約も仮想化技術利用のメリットとされる。

これらにより、例えば、VMware の製品の場合、40～60%の運営コストの削減が可能となるとされ[35]、このようにそもそもの運営コストを削減するという観点から、熱対策、電源マネジメントなどの他のサーバ／データセンターに係る環境対策とはかなり性質を異にする。

EPA も、現在使用可能かつ最善のデータセンターのエネルギー効率を向上する製品や技術として、エネルギー効率の良いコンピューターサーバなどとともに仮想化技術を挙げている[36]。実際に、EPA の報告書[37]によると、近年、仮想化技術の

---

[34] http://www.vmware.com/overview/why.html
[35] http://www.vmware.com/files/pdf/customers/07Q1_cs_vmw_eci_english.pdf
[36] http://www1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/pdfs/national_data_center_fact_sheet_abbrev.pdf
[37] EPA 資料（もとのデータは、IDC）
http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/downloads/EPA_Datacenter_Report_Congress_Final1.pdf p30, p45

導入により、計算需要の増大に比較して物理的なサーバの需要の増大は伸びていないとしている。また、サーバの出荷数は、以前は、2010 年までに 61%増大すると見込んでいたが、仮想化の進展により、現在の見込みでは 39%の増大に留まっているとしている。

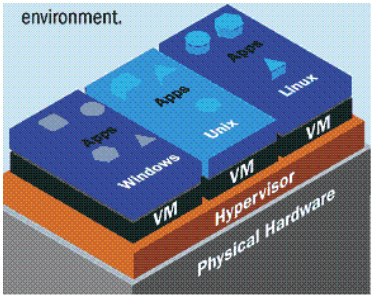
＜仮想化技術の種類＞

この仮想化技術については、仮想化の対象とするサーバ、PC、半導体などハードウェア資源の範囲によっていくつかの種類がある[38]が、本稿では主にサーバにおける仮想化技術（ソフトウェア技術）を取り挙げる。

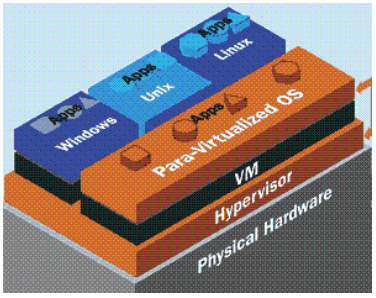
また、その仮想化技術の手法としては、完全仮想化（Virtualization）、準仮想化（Para Virtualization）、OS での仮想化の 3 種類に分類される[39]。その概要は、以下の通り。

三種類の仮想化技術の概要[40]

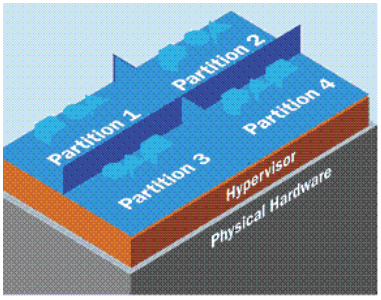
種類	特徴	利用例
完全仮想化（Virtualization）	既存の OS を修正せずに仮想化。 （異なる OS を同時に利用可能） 処理能力は、若干遅い	VMware, Microsoft Virtual Server
準仮想化（Para Virtualization）	既存の OS の修正が必要。 処理速度は速い。	Xen
OS での仮想化	各仮想化環境上の OS は独立。 異なる OS の同時作動は不可。	Solaris Containers



（完全仮想化）



（準仮想化）



（OS での仮想化）

[38] 例えば、サーバに係る仮想化技術（ソフトウェア）以外には、PC にある各種資源の最適化を図る仮想化技術、半導体のハード上で最適化を図る仮想化技術、などがある。

[39] http://searchservervirtualization.techtarget.com/sDefinition/0,,sid94_gci1032820,00.html
http://www.infoworld.com/article/07/02/12/07FEvirtualserv_2.html

[40] 出典：InfoWorld http://www.infoworld.com/article/07/02/12/07FEvirtualserv_1.html
http://www.infoworld.com/article/07/02/12/07FEvirtualserv_2.html

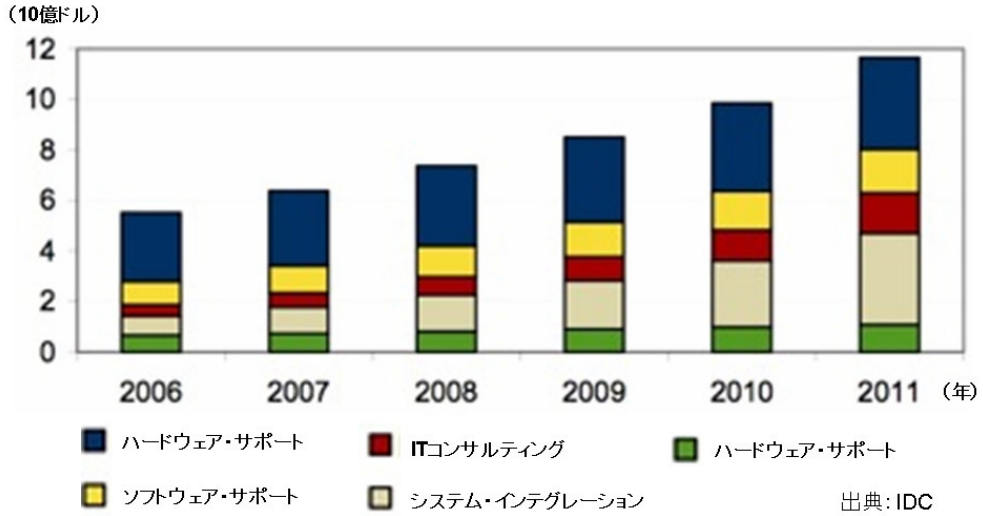
（２）仮想化市場見込み

＜市場＞

仮想化市場は拡大傾向にあり、今後もこの勢いは続くと見られている。IDC の調査によると、全世界で仮想化ソフトウェアに費やされる金額（仮想化市場）やそれに関連するサービス市場（仮想化サービス市場）を合わせた全体の市場規模は、2006 年の 65 億ドルから 2011 年には 150 億ドル以上にまで拡大するとのことである[41]。

そのうち、仮想化市場については、同社の 2006 年 10 月の調査によると、2006 年には前年比 46%増の 8.1 億ドルにまで増加し、2009 年には 18 億ドルに達するとしている[42]。また、仮想化市場の拡大に伴い、仮想化に関連した各種のサービス市場の拡大も見込まれており、同社が 2007 年 7 月に発表した調査によると、全世界の仮想化サービス市場は 2006 年の 55 億ドルから、2011 年には 117 億ドルへの拡大が予測されている[43]。

仮想化サービス市場の成長予測（2007 年）[44]



このような中、同社の 2007 年 3 月の調査[45]によると、仮想化技術を搭載したサーバの出荷数は 2005 年から 2010 年にかけ、毎年 40.6%増の勢いで成長し、2010

[41] 2008 年 1 月 14 日 Network World 誌
http://www.networkworld.com/research/2008/011408-8-techs-virtualization.html
[42] Market World, “IDC: Virtualization market booming; VMware sominates, Linux growing fast, users looking beyond consolidation” Octber 25, 2006. Obtained via Nexis.
[43] http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS20778407
[44] 出典：http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS20778407
[45] http://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS20609907

年には、サーバ総出荷数の 14.6%に当たる 170 万台に仮想化技術が搭載される見込みであるとしている（2005 年時点では、4.5%）[46]。

また、Gartner の 2007 年 5 月の調査によると、2006 年、全世界には 54 万台の仮想化技術を搭載したサーバ等[47]が存在しており、2009 年にはその数が 400 万台以上にまで拡大するとの見通しを立てている[48]。そのような中、同社は、2012 年までにかけて、サーバ市場において、仮想化は最も重要なトレンドの 1 つになると予測している[49]。

なお、このうち、日本市場は、世界の仮想化市場のうち現状で 1 割弱であると計算され、また、今後、仮想化技術を搭載したサーバは、世界全体よりも急速に普及されるものと考えられている模様である[50]。

2008 年 4 月に ChangeWave 社が米国の企業を対象に行った調査[51]では、今後ソフトウェアへの出費額を縮小すると回答した企業は少なくかったが、その中で CRM や ERP 関連のソフトウェアなどがその余波を受ける一方で、仮想化ソフトウェアとセキュリティ・ソフトウェアへの支出は増大するとされており、仮想化技術の必要性の高まりがうかがえる。

（３）仮想技術の企業とシェア

＜主要企業とシェア＞

仮想化技術を提供している企業は、専業ベンチャーに加え、サーバ等に関係する製品を提供するソフト・ハード企業が中心となっている。この中でも VMware と Microsoft が最大手として知られている[52]。

---

[46] “VMware IPO shows virtualization market is emerging as a reality” http://vmblog.com/archive/2007/07/28/vmware-ipo-shows-virtualization-market-is-emerging-as-a-reality.aspx

[47] サーバだけでなく、デスクトップの仮想化なども含む。

[48] http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=505040

[49] http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=654011

[50] なお、日本市場に関しては、IDC Japan の 2007 年 12 月の発表によると、2006 年の日本における仮想化市場は、2005 年比 64.9%増の 58.3 億円と大きく成長し、また、この傾向は今後も続き、2011 年までの年間平均成長率は 39.8%、2011 年の同市場は 311.8 億円にまで拡大するとしている。
http://www.idcjapan.co.jp/Press/Current/20071212Apr.html
なお、同社の 2008 年 5 月の発表によると、日本における仮想化技術を搭載したサーバの出荷数の割合は、2006 年には 7.4%であったが、2011 年には同 39.4%にまで成長すると予測している。
http://www.idcjapan.co.jp/Press/Current/20080522_2Apr.html

[51] http://blog.changewave.com/2008/05/tough_times_corporate_software_spending.html

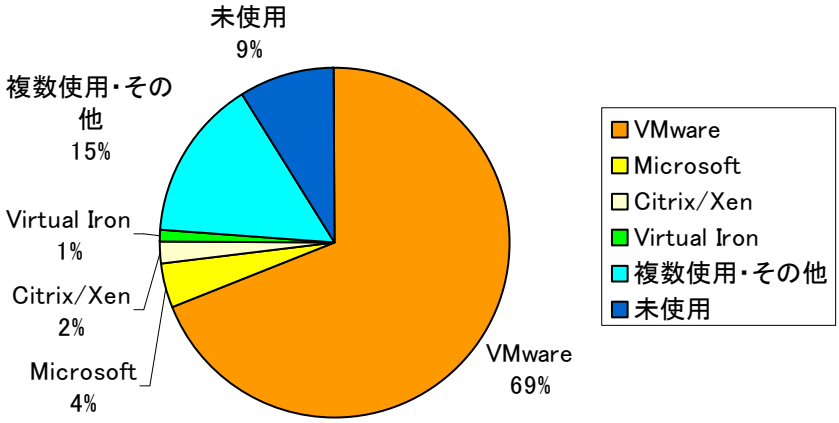
[52] なお、半導体チップでの仮想化に関しては、Intel 社、AMD 社も、半導体チップに仮想化技術に対応したものを組み込んでいる。

仮想化プラットフォームの主な製品とその評価[53]

企業名	製品名	仮想化種類	オープンソース	サポート OS
VMware	VMware	完全仮想化		ほぼ全ての OS
Microsoft	Microsoft Virtual Server	完全仮想化		ウィンドウズ、Linux
Xen Source（CitrixSystems）	Xen	完全仮想化（CPU ｻﾎﾟｰﾄ有）準仮想化	○	Linux、BSD、ソラリス、Plan 9、ReactOS
Parallels, Inc	OpenVz/ VIrtuozzo	OS レベル	○	ウィンドウズ、Linux
Sun Microsystems	Solaris Containers/ Zones	OS レベル	○	ソラリス

Gartner 社のアンケートに基づく、2007 年末の時点での仮想化ソフトウェアのベンダー別シェアを見ると、第 1 位の VMware が約 69%と、圧倒的な優位状態となっており、第 2 位の Microsoft 社の 4%、第 3 位の Citrix/Xen Source の 2%と比較して圧倒的に差をつけている[54]。

仮想化ソフトウェア市場に係るアンケート調査に基づくベンダ別シェア[55]



[53]出典 InfoWorld http://www.infoworld.com/article/07/02/12/07FEvirtualserv_1.html
なお、上記表以外にも、ハードウェア（プロセッサ）ベース上での仮想化を行う技術としては、Kernel-based Virtual Machine ：KVM（完全仮想化・CPU サポート有、ウィンドウズ・Linux 対応）がオープンソースで開発されている。
[54] http://www.gartner.com/it/content/627600/627607/datacenter07postevent2.pdf
[55] 出典：Gartner, Gartner Data Center Conference 2007, Post Event Summary, 2007
http://www.gartner.com/it/content/627600/627607/datacenter07postevent2.pdf

＜各企業の動向＞

VMware 社（カリフォルニア州パロアルト）は、1998 年に設立された、仮想化技術を専門とするベンチャー企業である。同社は 2000 年にサーバ市場に参入、2003 年には仮想マシンソフトウェアである VMware VirtualCenter / VMotion technology を発表した。翌 2004 年にネットワーク・ストレージ・システムやソフトウェアの開発、製造、サービス、販売業を行う EMC 社に合併されたものの、その後急成長を続け、2007 年 8 月には NYSE（ニューヨーク証券取引所）に上場した。

現在、同社が抱える顧客企業は 10 万社・組織以上、フォーチュン 100 選出企業の全て、フォーチュン・グローバル 100 の企業の 94%が同社製品を使用している[56]など、仮想化市場で圧倒的なシェアを誇っている。さらに VMware 社の 2007 会計年度の収益は前年比 88%アップの 13.3 億ドルに急成長[57]、2008 年も前年比 80%増の収益を見込んでいる[58]。

もう 1 つの最大手である Microsoft 社は、元々はサーバ用の OS を提供する中で、Microsoft Virtual Server を提供するなど、仮想化技術にも取り組んでいたが、2007 年 12 月、Windows Server 2008 の目玉となる仮想化ソフトウェア、Hyper-V を発表し、2008 年 6 月に正式にリリースした[59]。

一方、XenSource 社は 2005 年に設立、オープンソースによる準仮想化ソフトウェアである「Xen」の開発、販売を行っていた。VMware 社の同様の製品と比較し、性能レベルはほぼ同じにもかかわらず、価格がその 2～10 分の 1 というのが XenSource 社製品の魅力であった[60]。同社は、2007 年に、アプリケーションデリバリー・インフラストラクチャーでその名を知られる、Citrix 社（フロリダ州フォートローダーレール）に買収された。Citrix Systems 社も元々、仮想化技術を搭載した製品の販売を行ってはいたが、XenSource 社の買収後も、Xen の開発も含めて仮想化市場へのますますの参画を図っている。

また、2008 年 1 月には、Microsoft は、Citrix Systems 社との提携強化を発表した[61]。その中で、Citrix 社による Hyper-V 等のフルサポートや、両社製品の相互運用性の確立などサーバ及びデスクトップの仮想化に関する包括的な製品の開発に取り組むとしている。

---

[56] http://www.vmware.com/overview/why.html
[57] http://japan.emc.com/about/news/press/2008/012908-earnings.htm
[58] http://www.cbronline.com/article_news.asp?guid=F58651B0-8CB1-4CEE-8AA0-41BF7922DB34
[59] 同製品はマイクロソフト社ホームページからダウンロード可能。
http://japan.cnet.com/news/ent/story/0,2000056022,20376161,00.htm
[60] www.vmug.nl/modules.php?name=Downloads&d_op=getit&lid=24
[61] www.microsoft.com/presspass/press/2008/jan08/01-21citrixvirtualizationpr.mspx
http://www.citrix.com/English/NE/news/news.asp?newsID=1297126&ntref=hp_article_headlines_US
http://www.microsoft.com/presspass/press/2008/jan08/01-21citrixvirtualizationpr.mspx

＜製品評価＞

一方、これらの仮想化技術に関しては、その効率性等に関して評価する基準はまだ確立していない。

2006 年 11 月 8 日、非営利団体である SPEC（Standard Performance Evaluation Corporation）[62]が、サーバ仮想化ソフトウェアの性能評価に向けたベンチマークを策定するため、SPEC Virtualization Committee を設立した。同委員会は、各種仮想マシンの公平な評価を可能にする方法の設立や、サーバやシステムの仮想化、ハードウェアのパーティション分割のサポート提供などを目的としている。同委員会は、Dell、富士通・シーメンス・コンピューターズ、HP、IBM、Intel、マイクロソフト、VMware 社など、仮想化ソフトウェアを発表している企業で構成されている。なお、ベンチマークの発表は現在のところ、2008 年下半期に予定されている[63]。

一方、VMware 社は 2007 年 7 月、業界初の仮想化ベンチマーク・ツールである VMmark を発表している[64]。同ツールを使用することでベンダや仮想化ソフト使用者は、仮想化環境のパフォーマンスと仮想化環境上で作動する各種アプリケーションのスケーラビリティを測定することができる。具体的には、同ツールの使用により、e メールサーバ、Java サーバ、スタンバイサーバ、データベースサーバ、ファイルサーバの評価が可能である。しかし、同年 VMware 社が同製品による評価に基づいて発表した仮想化システム評価比較には賛否両論があるのが現状である[65]。

（４）仮想化技術を含んだ、サーバ／データセンター市場

このような仮想化技術は、主として、サーバの販売やデータセンターに係る IT サービスを提供する企業を通じて、導入が進められている。これらの企業においては、単に仮想化技術を、上記ベンダから購入するだけではなく、各種の熱対策などと組み合わせて、グリーン IT に係る製品、サービスとしての開発・販売を進めている。

---

[62] SPEC は、新しく開発された高性能コンピューターシステムの評価に関するベンチマーク策定を行う非営利団体。

[63] http://www.spec.org/specvirtualization/

[64] 同ツールは同社ホームページ（http://www.vmware.com/products/vmmark/overview.html）から無料でダウンロード可能。

[65] VMware 社は 2007 年、独自のベンチマークを使用しての、競合各社製品を含むハイパーバイザー評価報告書を発表した。しかし Xen 社は同報告書の評価は公平でないと反論、ベンチマークを利用しての独自の評価を行っている。
http://blogs.windowsnetworking.com/wnadmin/2007/03/15/vmware-vs-xen-controversy/

例えば、IBM 社の場合は、VMware 社による仮想化技術を搭載したシステムプラットフォームなどの販売を行う[66]ばかりでなく、顧客のビジネスの効率化の実現に向け、IT インフラへの仮想化技術の導入支援や仮想化技術のマネジメントサービスも行っている[67]。特に、IBM 社が進めている Project Big Green イニシアチブ[68]では、仮想化のみならず、グリーン IT、クラウドコンピューティングなどの技術も利用して、データセンターのエネルギー効率向上を目指している。同イニシアチブは 2008 年 6 月に第 2 フェーズに突入し、データセンターにかかる新製品を 3 種類発表した。これらの製品を利用することで、顧客は最大 35%のコスト削減を実現させることが出来るとしている[69]。なお、同社は、自社のデータセンターに係るエネルギー効率の向上にも積極的に取り組んでおり、同年 2008 年 5 月には、同プロジェクトの一環として、カナダのブリティッシュコロンビア州ケロウナに、カナダで最も環境に優しい大規模センターが設立することを発表している[70]。

HP 社も、IBM 社同様、VMware 社の仮想化製品を搭載したサーバープラットフォーム、ProLiant を展開している[71]。また、HP 社は、かつてからデーセンターのエネルギー効率向上に取り組んでいるが、2007 年 7 月、その取り組みの拡大を発表した。今回発表されたのは、同社のデータセンター・顧客・パートナー向けサービスである HP Thermal Assessment Service に係る新機能である、Thermal Zone Mapping である。同マップは、3D 化したデータセンターモデルの中で、センターのどの部分がどの程度冷却されているかを示すものであり、このため、データセンターは装置の冷却を効率的に行うことができるとされている。データセンターにおける使用電力のおよそ半分が装置の冷却によるため[72]、同マップを使用することでエネルギー効率向上とコスト削減を同時に行うことが可能となるとのことである。

---

[66] http://www-03.ibm.com/systems/power/news/announcement/20080402_annc.html
[67] http://www-06.ibm.com/systems/jp/saiteki/datacenter/
[68] http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/24395.wss, http://www.internetnews.com/hardware/article.php/3752256/IBMs+1B+Big+Green+Gets+Smaller.htm
[69] http://www.internetnews.com/hardware/article.php/3752256/IBMs+1B+Big+Green+Gets+Smaller.htm、http://www.crn.com/hardware/208403225
[70] http://www.thestandard.com/news/2008/06/27/why-green-data-centers-mean-partner-opportunities
同計画では、IBM 社はブリティッシュコロンビア州ケロウナを拠点とする RackForce 社と共同で、データセンターの建設を行う。完成したセンターの電気利用効率は 1.38 となり、業界で最も効率の良いデータセンターになるとのことである。また同センターのネットワークは、仮想化環境上で動作されるとのことである。
[71] http://h18004.www1.hp.com/products/servers/software/vmware-esx3i/index.html
[72] http://www.apcmedia.com/salestools/VAVR-5TDTEF_R0_EN.pdf

４．クラウドコンピューティングと産業構造の変動

（１）クラウドコンピューティングとは

＜クラウドコンピューティングへの関心の高まり＞

データセンターに係る次世代の技術として、近年注目を集め、かつ、導入が進みつつあるのが、クラウドコンピューティングである。同技術を巡っては、2006 年終わり頃から、web2.0 に次ぐ新たな概念（あるいは Buzz Word）として、人口に膾炙されるようになってきている。実際に、2007 年の 1 年間でクラウドコンピューティングをトピックとして扱った米新聞記事の数は 92 件であったのに対し、2008 年は 6 月中旬までの半年間で 431 件と急増[73]しており、同技術が注目を集めている様子が伺える。

このような中、近年、大手インターネット企業、IT 企業の多くが、次世代の技術として、クラウドコンピューティングの重要性を指摘してきている[74]。最近では、ガートナー社は 2007 年 10 月に発表した「2008 年の戦略的技術トップ 10」 においても、仮想化技術と並んでクラウドコンピューティングを挙げている[75]。

＜クラウドコンピューティングとは＞

クラウドコンピューティングとは、インターネット上に拡散した各種資源を使って、コンピューティングやストレージサービスを提供するコンピューティング・アーキテクチャを指す。クラウドコンピューティングの「クラウド（Cloud：雲）」とはインターネットを指し、インターネット（雲）の向こう側で、実際にはどこでコンピューティングがなされているか分からないというイメージである。

すなわち、クラウドコンピューティングでは、特定のサーバやソフトウェア資源を利用するのではなく、インターネット上でつながっているサーバやデータベースから最適な資源を探し出し、それを活用するような技術であると言える。

- Gartner 社は、「クラウドコンピューティングとは、現在の IT 業界の中で最重要視されている、サービスオリエンテーション、仮想化、コンピュー

---

[73] Nexis.com でクラウドコンピューティングを含む米国新聞記事を検索した結果。

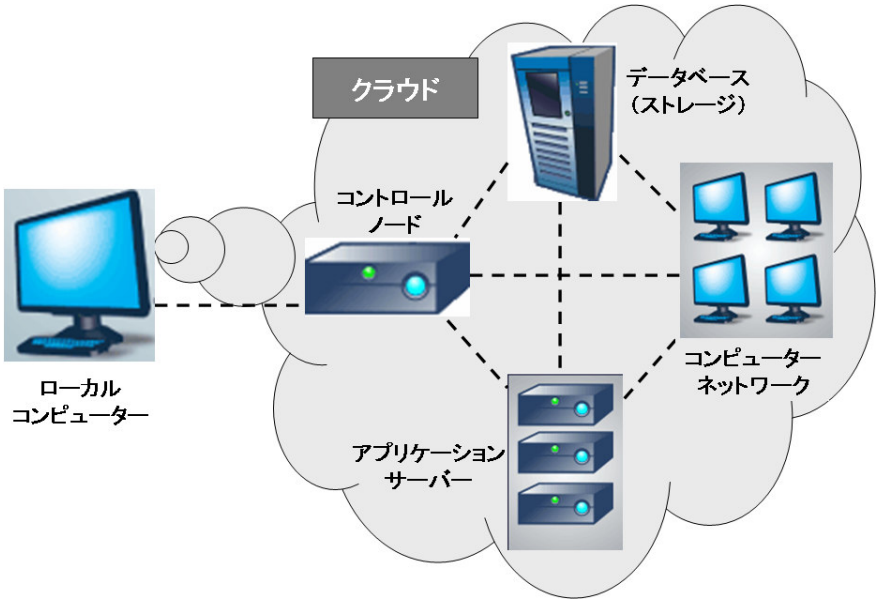
[74] 例えば、Google 社の CEO である Schmidt 氏は、「クラウドコンピューティングと広告は手を取り合って進む。これは新しいビジネスモデルであり、広告がけん引して、ソフトウェアイノベーションのための資金を提供している」と述べている。
http://www.google.com/press/podium/ses2006.html
また、Salesforce 社 CEO の Benioff 氏も、2008 年 1 月、「クラウドコンピューティングは企業にとって、莫大なポテンシャルを秘めている」と述べ、同技術の将来性を高く評価している。
http://www.reuters.com/article/pressRelease/idUS140515+17-Jan-2008+PRN20080117
Citrix 社の社長も、「クラウドコンピューティングは今後 3 年以内に超巨大トレンドになる」と予想している。
http://www.computing.co.uk/computing/news/2218724/cloud-computing-set-mega-trend

[75] 同社は、クラウドコンピューティングに多大な関心を寄せており、今年に入ってから同技術に関し、少なくとも 6 件の報告書を作成している。

ティングの標準化の３つのトレンドを、インターネットを通して１つに合致させる技術を指す」「インターネット技術を利用して、外部に存在する多くの顧客に IT の機能性を『サービスとして』提供する技術」と定義付けている[76]。

・ IBM 社によると、クラウドコンピューティングとは、IT インフラストラクチャの一種で、このシステム内では、コンピューティング資源は仮想化され、サービスとしてアクセスされるものであるとしている[77]。

典型的なクラウドコンピューティングのイメージ図[78]



このため、クラウドコンピューティングの導入が進むことにより、従来はローカルコンピューターが行ってきた作業の多くがクラウドにシフトし、ローカルコンピューターの作業負荷が大幅に減ることになる[79]とともに、各企業が独自のデータセンターを保有・管理する必要がなくなるという点で、クラウドコンピューティングはこれまでのデータセンターのあり方を変え、インターネットのコンセプトやパラダイムを変えるような次世代技術として位置付けられる。

---

[76] http://www.gartner.com/it/products/research/cloud_computing/cloud_computing.jsp?prm=7_14_08_VCC, http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=707508
[77] http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/24147.wss
[78] 出典：How Stuff Works
http://communication.howstuffworks.com/cloud-computing.htm
[79] http://communication.howstuffworks.com/cloud-computing.htm

また、仮想化技術がサーバ内の資源を最適に活用することで効率化を達成することができるのと同様に、クラウドコンピューティングではインターネット全体での仮想化を進め、それらに接続されている多くのサーバ等の資源に係る有効活用を図ることが可能となるものと想定されている。このため、これまでより少ないサーバ数で同様の作業をこなすことが出来るとされており、エネルギー消費を抑えるグリーン技術としても注目されている[80][81]。

＜クラウドコンピューティングの実態＞

一方、それでは、「クラウドコンピューティングとは、具体的にどのような技術を指すのか」という問いについては、識者によって認識は大きく異なり、確固とした定義がないのが現状である[82]。

この上記のクラウドコンピューティングの定義から見た場合、例えば、各消費者が利用している検索技術や電子商取引などのインターネットサービスの多くは、そのコンピューティング（計算）がどこのサーバやデータセンターで行われているか分からずに行われているという意味では、クラウドコンピューティングによるサービスであると言うことができ、また、最近、関心が高まっている SaaS などの企業向けのサービスもクラウドコンピューティングの一種であると指摘される。実際に、InfoWorld が、クラウドコンピューティングとして挙げられるサービスを関係者にヒアリングしたところによると、SaaS、ユーティリティ・コンピューティングもクラウドコンピューティングに含まれるというのが一般的な見方だとしている。具体的には、以下の通り[83]。

クラウドコンピューティングに含まれるサービス[84]

	名称	概要
①	SaaS	ブラウザを介して、1 つのアプリケーションを数多くのユーザーに提供するサービス。
②	ユーティリティ・コンピューティング	オンデマンドでのアクセスが可能なストレージや仮想サーバを提供するサービス。
③	クラウド内でのウェブサービス	完全に固定化されたアプリケーションではなく、API を通じて、インターネット上で機能性を引き出すことができるサービス。
④	PaaS	アプリケーションの開発環境についても、インターネットを通じて提供するサービス。
⑤	MSP (managed service providers)	e メールに対するウイルススキャンサービスなど、アプリケーシ

[80] http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/23710.wss
[81] http://www.managementconsultancy.co.uk/articles/print/2218724
[82] 例えば、Infoworld も、クラウドコンピューティングの定義はあいまいだとしている。
http://www.infoworld.com/article/08/04/07/15FE-cloud-computing-reality_1.html
[83] http://www.infoworld.com/archives/emailPrint.jsp?R=printThis&A=/article/08/04/07/15FE-cloud-computing-reality_1.html
[84]出典：Infoworld より作成
http://www.infoworld.com/article/08/04/07/15FE-cloud-computing-reality_1.html

		ョン管理を行うサービス。
⑥	Service Commerce Platform	SaaS と MSP の混合で、ユーザー間が交流するためのハブを提供するサービス。
⑦	インターネット統合	上述を含む各種クラウドサービスの統合。まだ、進展しておらず、初期の段階。

これらの議論を踏まえると、クラウドコンピューティングの実態を考えるにあたっては、以下の 2 つの視点がポイントになると考えられる。

- クラウドコンピューティングとは、上述のようなサービスに係る技術を指すものであるが、特定のサービスに係る技術を指すというよりは、むしろバック部分の視点から見たインフラ技術と言える。すなわち、SaaS などがサービス（フロント）の視点からの定義であるのに対し、クラウドコンピューティングは、それらを実現するためのデータセンターの構成手法・アーキテクチャーであり、インフラの技術と言うことができよう。
- このインフラ・アーキテクチャーとしてのクラウドコンピューティングは、一部企業内では進みつつあるものの、インターネット全体への拡充という観点からは、まだ確立されたものではなく、上記表の⑦にあるとおり、今後、何らかの形で統合化する方向に進化するものと理解されている。
  Gartner 社は、今後クラウドコンピューティングは、コミュニケーション伝達システムとしてのインターネットと、サービスの伝達システムとしてのインターネットを統合することにより、インターネットの次世代の形を作り出すものと考えている[85]。しかしながら、その具体像にまだ明確になっていない。

それでは、クラウドコンピューティングは、今後、どのような方向に進みつつあるのだろうか。以下、米国における各企業の動向についてまとめる。

（２）インターネットサービス企業における動向

＜Google のクラウドコンピューティング＞

これまで、クラウドコンピューティングに関しては、各インターネットサービス企業が、当該企業のサービスを提供するにあたって、そのインフラとしての技術を、それぞれ自社内で試行錯誤の上で構築してきている。これらのインフラに係る技術は、当該企業の競争力の源泉であることから、一部論文等を通じて公開しているものを除き、原則としては、当該企業のノウハウとして独自に確立されつつある。

[85] http://www.gartner.com/it/page.jsp?id=707508

例えば、このクラウドコンピューティングのインフラを利用している企業の代表的な例としては、Google 社があげられる。Google 社においては、検索エンジン等のサービスを提供しているが、これらにおいては、Web 上の数十億ページ（ペタバイト級）に Index をつけ、この規模のデータに対して世界中から来る多数の検索要求に対して、瞬時にその処理結果を回答するという大規模高速計算を行っている。そのような大規模高速計算を実施するためには、業務の拡大に併せて、安価なハードウェアを次々と購入し、多量に組み合わせ、また、前述の通り、それらのハードウェアを設置するデータセンターを世界中に配置させるという「スケールアウト」の戦略をとり、その上で、世界中にある自社のデータセンター内のハードウェアを協調動作させる自社独自の分散コンピューティング技術を通じて、これらの大規模高速計算に対応するためのインフラの整備を常に実施しているとされる。

そのような意味で、クラウドコンピューティングの現状の実態は、これまでの各種のグリッド・コンピューティングや分散・並列コンピュータなどの既存の技術と類似した概念を有するものの、そのスケーリングの手法等において大きく異なるものと位置付けられるものと考えられる。

＜サービスからプラットフォームへの移行、拡大＞

上述の Google の例に見られるとおり、各インターネットサービス企業はこれまで、電子商取引、検索サービスなど個々のサービスを提供するために、クラウドコンピューティングに係る技術・インフラを独自に確立してきた。

最近は、その技術・インフラを活用して、単に自社の特定のサービスを提供するだけではなく、サービスの開発段階から含めて当該企業のコンピュータ資源を他社が活用できるようなビジネスを展開し始めている。これは、言い換えれば、これまでクラウドコンピューティングによって提供できるサービスが、従来は自社による特定のサービスのみであったのが、今後は、開発者が自由にこれらのコンピュータ資源を使えるように開放する方向に動きつつあると解釈される。

インターネット企業におけるプラットフォーム化に向けた動き等

企業名	概要
Amazon	2006 年に発表されたアマゾン社の Elastic Compute Cloud (EC2) は、コンピューティングサービスをインターネット上で提供するサービスである[86]。アマゾン社は他にも、オンライン上ストレージサービスである「Simple Storage Service (S3)」、信頼性が高く、スケーラブルなキューを提供する「Simple Queue Service（SQS）」など、クラウドコンピューティング技術を使用した 3 製品を提供するなど、クラウドコンピューティングの商品化に積極的に取り

[86] 例えば、Time 社は同サービスを利用して、オンライン配信向けに、4 テラバイトの TIFF データ記事を 1.5 テラバイトの PDF ファイルへと変換させた。EC2の PDF 変換アプリケーションの使用により、本来ならば 1 ヶ月近くかかった作業がわずか 2 日で完了したとのこと。
InfoWorld Daily News, “Early experiments in cloud computing,” April 7th, 2008. Obtained via Nexis.

	組んでいる。
Salesforce	2008 年 1 月、同社の企業向け SaaS「Force.com」の新製品である「Cloud Computing Architecture」を発表した。同サービスの魅力は、各企業のニーズや使用パターンに沿ったアプリケーションや価格設定が可能な点である[87]。利用料金は、1 ログイン当たり 99 セントからとなっており、同製品を取り上げた新聞記事や雑誌記事の多くが、この値段設定について「画期的である」との評価を下している[88]。
Google	2008 年 6 月、クラウドコンピューティングを使用した企業向けサイト検索サービス、「Google Site Search」を発表した。同サービスは主に、ウェブサイトにおけるサイト内検索機能の向上に役立つとのことである[89]。「Google Site Search」の特色には、類義語での検索が可能な点や、検索結果に時系列・人気別のウェイトをかけられる点が挙げられる[90]。
Microsoft	同社は従来より「Windows Live」と呼ばれるオンライン記憶装置を、写真共有やファイル保存などの目的で提供していたが、2008 年 2 月、クラウドコンピューティングを使用することでその容量を 5GB にまで増加させた「Windows Live SkyDrive」を、世界 38 カ国で正式発表した[91]。
Yahoo!	2008 年 6 月末、クラウドコンピューティングのスケーラビリティとコスト効率の両立を達成させるための開発グループ、Cloud Computing & Data Infrastructure Group の発足を発表、SaaS 市場に参入する意思を見せている[92]。

（３）次世代のクラウドコンピューティングに向けた動き（IT サービス企業等）

＜IT サービス企業の動き＞

このようなインターネットサービス企業の動きに対し、これまで企業向けにデータセンター等に係る技術・サービスを提供してきた IT サービス企業も、クラウドコンピューティングに強い関心を寄せている。この動きは、単に消費者向けのインターネットサービスだけではなく、企業向けの IT サービスにもクラウドコンピューティングの技術を適用する動きとして注目される。

具体的には、IBM社は、本分野で最も技術力を有する企業の1つと考えられている。同社は従来から積極的にクラウドコンピューティング研究を行っていたが、

[87] http://www.salesforce.com/company/news-press/press-releases/2008/01/080117-2.jsp
[88] http://www.reuters.com/article/pressRelease/idUS140515+17-Jan-2008+PRN20080117、ただしこの価格は 2008 年末までで、その後は 1 ログイン 5 ドル、もしくは月 50 ドルとなる。http://www.thedevweb.com/thedevweb-26-20080117CloudComputingArchitecturefromSalesforce.html
[89] Wireless News, "Google Launches Site Search with Cloud," June 6th 2008, Obtained via Nexis. http://googleblog.blogspot.com/2008/06/google-site-search-taps-power-of-cloud.html
[90] Business Wire, "Google Site Search Taps Power of the Cloud to Improve Search for Business Websites," June 3rd 2008. Obtained via Nexis.
[91] 同サービスは 2007 年 8 月から試行されていたが、その対象は米英など一部の国に限られていた。
[92] http://yhoo.client.shareholder.com/press/releasedetail.cfm?ReleaseID=318602

2007年11月にBlue Cloud構想を発表した[93]。これは、企業のデータセンターをインターネットのように使えるようにするための、一連のクラウドコンピューティングサービスを提供するという試みである。同構想はIBMのソフトウェア、システム技術、サービスに裏付けられたオープンソース・スタンダードとオープンソース・ソフトウェア上で展開されている。2008年春ごろを目安に、クラウドコンピューティング技術を企業に提供することを明らかにした。

また、その他に、VMware 社を保有する EMC 社が 2008 年 2 月にベンチャー企業を買収、クラウドコンピューティングを強化すると発表、主に大学と連携する形で研究を進めている。

＜大学との連携を通じた研究開発、人材育成＞

このように米国で、クラウドコンピューティングの技術が発展してきている背景としては、米国におけるコンピューターサイエンスの人材と高性能コンピュータのアーキテクチャーに係る技術的蓄積の厚さが重要な役割を果たしているものと考えられる[94]。

しかしながら、このようなクラウドコンピューティングへの関心の高まりに対し、それらの必要な人材が不足しているとの認識が高い。このため、これらの係る人材育成を図るとともに、今後求められる新たなアーキテクチャーに係る研究を進める観点から、大学や海外との共同研究が活発化しつつある。

①Google と IBM

クラウドコンピューティング技術におけるトップと考えられている Google 社は自社研究だけでなく、大学機関におけるクラウドコンピューティング技術教育の不足に目をつけ、大学機関でのクラウドコンピューティング技術を推進するための「Academic Cluster Computing Initiative」を、2007 年 10 月に、IBM 社と共同で発表、自社のプロセッサを大学に開放したことを発表した[95]。現在、同イニシアチブには、マサチューセッツ工科大学、スタンフォード大学、メリーランド大学など、コンピューターサイエンス分野での有名校 6 校[96]が参加している。グーグル社と IBM 社の 2 社は同プロジェクトに対し、2 年間で計 3,000 万ドルを投資している[97]。なお、両社によるクラウドは Linux 上で実行され、Google File System の

---

[93] http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/22613.wss

[94] 例えば、連邦政府の IT 関連研究開発支援（NITRD）の予算の大半は、HEC(High End Computing)に費やされており、これらの資金の多くが大学等に流れている。

[95] http://www.pcworld.com/businesscenter/article/138195/google_ibm_promote_cloud_computing.html

[96] ワシントン大学、カーネギーメロン大学、マサチューセッツ工科大学、スタンフォード大、メリーランド大学、カリフォルニア大学バークレー校

[97] http://www.nytimes.com/2007/10/08/technology/08cloud.html?ei=5088&en=157b7c4244f00569&ex=1349496000&adxnnl=1&partner=rssnyt&emc=rss&adxnnlx=1214839245-F21Nm7I2M2l78VITrwlccg

Apache Hadoop（オープンソース）と、Xen 社による仮想化システムを使用しているという[98]。

②IBM（大学、海外）

IBM は、上記 Google との連携による大学との共同研究に加え、2008 年 3 月には、ジョージア工科大学、オハイオ州立大学の 2 大学との共同研究計画も発表している。同計画は、クラウドコンピューティング環境での仮想化データセンターの自己管理システムに焦点を置いており、2 大学のデータセンターを繋ぐプロトタイプ・コンピューティングクラウドである、「Critical Enterprise Cloud Computing Services (CECCS)」施設の設立も予定している[99]。

また、同社はクラウドコンピューティング部門での米国外での共同研究も推進しており、2008 年 2 月には欧州連合との共同イニシアチブである Resources and Services Virtualization without Barriers（RESERVOIR）を発表、国境を越えた IT サービスの低価格での提供を実現させるため、クラウドコンピューティングに基づいた技術の開発に力を入れることとしている[100]。

さらに、IBM 社は 2008 年 6 月、南アフリカでは初の、中国では 2 つめのクラウドコンピューティングセンターを開設した。中国・北京のセンターでは、クラウドコンピューティングインフラの設置サポートや、同技術を使ったプロジェクトの支援だけでなく、顧客に対し、クラウドコンピューティング環境に関するトレーニングなども提供する。南アフリカ・ヨハネスバーグのセンターでは、クラウドコンピューティングの提供のほかに、Web2.0 や SOA 技術などを紹介する予定となっている[101]。

③他のインターネットサービス企業

インターネットサービス系の企業からは、2007 年 11 月に Yahoo!がカーネギーメロン大学との共同研究を発表、4,000 台のプロセッサスーパーコンピュータを使用して数百万のウェブ・ドキュメントの分析に当たっている。また同社は 2008 年 3 月、インドの Tata Sons 社[102]の完全子会社である Computational Research Laboratories（CRL）との共同研究を発表した。この共同研究では、世界で 4 番目に速いとされる同研究所のスーパーコンピューター、「EKA」[103]を使用して、クラウドコンピューティング・プラットフォームの設立研究が行われている[104]。

---

[98] http://www.informationweek.com/news/services/data/showArticle.jhtml?articleID=207404265
[99] http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/23747.wss
[100] http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/23448.wss
[101] http://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/24508.wss
[102] Tata Sons 社はインドのタタ・グループの持ち株会社であるが、タタ・グループのプロモーション活動を行う。
[103] 「EKA」は 1 万 4,000 台のプロセッサと 28 テラバイトのメモリ容量、140 テラバイトのディスク容量を持ち、ピーク時には 180 テラフロップの演算能力を発揮するスーパーコンピューターである。
[104] http://research.yahoo.com/node/2039

ソフトウェアの製造・販売業を中心とする Microsoft 社も最近、クラウドコンピューティングへの興味を明らかにし、2007 年 7 月には、クラウドコンピューティング用の OS の研究を進めていることを明らかにしている[105]。しかしこれまでソフトウェアに焦点を置いてきた同社の場合、クラウドコンピューティングの進展状況は Google 社などと比較して遅れ気味の様子である。

（4）クラウドコンピューティングの今後

クラウドコンピューティングは、今後のどのようなアーキテクチャーとして進化するのかは、明確ではない。しかしながら、インターネットサービス企業による特定サービス提供の観点から始まったクラウドコンピューティングは、上述を踏まえると、これまでの動きを踏まえると、以下の方向が考えられる。

- これまでは、消費者向けインターネットサービスと一部 SaaS などの企業向け IT サービスが中心であったが、今後、一般の企業の IT サービスも含めてクラウド化が進展するのではないか。
- これまでは、クラウドのどこで計算されるか分からないといっても、サービスを提供する個別特定企業のサーバ／データセンターのいずれかで行われることが主であったのに対し、今後は、サービスからプラットフォームへの動きがさらに進展することにより、企業の枠（あるいは海外の枠）をより柔軟に越えたデータのやりとりや最適化が行われるようになるのではないか。

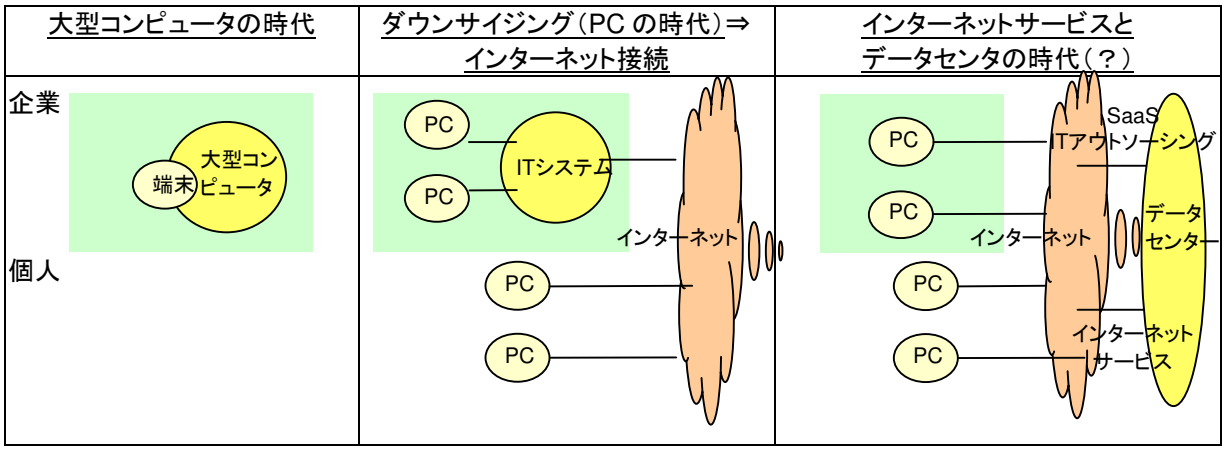
ただし、このような方向にクラウドコンピューティングが進展するにあたっては、現時点で既に各種インターネットサービスで問題になっているような、各政府機関によるインターネットに係る法規制等の問題や、個人情報保護、セキュリティの問題が、より顕在化する可能性もあろう[106]。また、現在各社が独自に構築しているクラウドコンピューティングに関し、それらを接続するための技術的標準の構築がされていないことも、今後の課題となる可能性もある[107]。

いずれにせよ、このようなクラウドコンピューティングの流れは、仮にそのような方向に進むとした場合、これまでのコンピュータを巡るパラダイムを大きく変える可能性がある。すなわち、従来、大型コンピュータから、技術の発展に伴ってダウンサイジングが進み、PC の時代が到来した。これに対し、これらの PC がインターネットに接続され、インターネットの中心の世界が来ることにより、計算量が増大し、それはネットワークを通じて、データセンター側で、再び膨大

[105] http://news.cnet.com/2100-1007_3-6196152.html?part=rss&tag=2547-1_3-0-20&subj=news
[106] http://www.informationweek.com/shared/printableArticle.jhtml?articleID=208403130
[107] http://www.businessweek.com/technology/content/nov2007/tc20071116_379585.htm

な大型高速の計算機能を有するようになってきている兆候であると捉えることができる。言い換えれば、再び、大型コンピュータの世界が到来しつつある。ただし、これは、従来の大型コンピュータとは全く異なった構造を有している。これがクラウドコンピューティングであると解釈される。

コンピューティングを巡るパラダイムの変化



このような中で、このクラウドコンピューティングの進展に伴い、データセンターが、少数の企業で独占される方向に進むのではないかとの指摘がある。Yahoo!の Research Chief である Prabhakar Raghavan 氏は、「地球には、ある意味、5 つのコンピュータしかない。Google, Yahoo!, Microsoft, IBM, そして Amazon だ」と言ったという[108]。クラウドコンピューティングが今後どうなるかは、不明な部分は多いが、少なくともこれらは全て米国 IT 企業である。

このレポートに対するご質問、ご意見、ご要望がありましたら、tagui_ichikawa@jetro.go.jp までお願いします。

なお、本レポートは、注記した参考資料等を利用して作成しているものであり、本レポートの内容に関しては、その有用性、正確性、知的財産権の不侵害等の一切について、執筆者及び執筆者が所属する組織が如何なる保証をするものでもありません。また、本レポートの読者が、本レポート内の情報の利用によって損害を被った場合も、執筆者及び執筆者が所属する組織が如何なる責任を負うものでもありません。

[108] Business Week, 2007 年 12 月 13 日, *"Google and the Wisdom of the Clouds"*. http://www.businessweek.com/magazine/content/07_52/b4064048925836.htm