



JAEA-Testing

2019-001

DOI:10.11484/jaea-testing-2019-001

ハードウェア占有型 シンククライアントシステムの構築

Construction of Thin-client System with Hosted Desktop Infrastructure

矢城 重夫 庄司 誠 上野 時生 植野 あすか

Shigeo YASHIRO, Makoto SHOJI, Tokio UENO and Asuka UENO

システム計算科学センター

Center for Computational Science & e-Systems

JAEA-Testing

June 2019

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<https://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究連携成果展開部 研究成果管理課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 2 番地4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Institutional Repository Section,
Intellectual Resources Management and R&D Collaboration Department,
Japan Atomic Energy Agency.
2-4 Shirakata, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

ハードウェア占有型シンククライアントシステムの構築

日本原子力研究開発機構 システム計算科学センター

矢城 重夫、庄司 誠、上野 時生、植野 あすか

(2019 年 4 月 26 日 受理)

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（原子力機構）システム計算科学センターでは、原子力機構役員、運営管理組織、共通事業組織、拠点管理部門及び各研究開発部門事務室等へ、シンククライアントシステムによるパソコン利用環境を提供し、原子力機構の意思決定、基幹業務及び関連業務の効率的かつ円滑な実施を支えている。

本報告書は、平成 29 年 10 月に更新した現行シンククライアントシステムについて、導入に際して整理・検討した、シンククライアントシステムの特徴及び構築方針（基本要件）、その後の運用で新たに得られたハードウェア占有型シンククライアントシステムの実績・知見等についてまとめたものである。

Construction of Thin-client System with Hosted Desktop Infrastructure

Shigeo YASHIRO, Makoto SHOJI, Tokio UENO and Asuka UENO

Center for Computational Science & e-Systems

Japan Atomic Energy Agency

Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 26, 2019)

Center for Computational Science & e-Systems of Japan Atomic Energy Agency, provides an environment for using PCs with thin-client systems to our organization's officers, operation management organization, common business organization, base management department, and offices for each research and development department. Supports the efficient and smooth implementation of our decision-making, core operations and related tasks.

This report is the characteristics and construction policy (basic requirements) of the thin-client system and hardware newly obtained in the subsequent operation, which were arranged and examined on the introduction of the existing thin client system updated in October 2017. It is a summary of the results, findings, etc. of the hardware occupied thin-client system.

Keywords : Thin-client Systems, Hosted Desktop Infrastructure

目次

1. はじめに	1
2. シンククライアントシステムの特徴	2
2.1 シンククライアントシステム	2
2.2 シンククライアントシステムのメリット	2
2.3 シンククライアントシステムのデメリット	4
2.4 シンククライアントシステム実装方式	5
2.4.1 サーバ実装方式の種類	5
2.4.2 クライアント端末の種類	11
3. シンククライアントシステムの構築	13
3.1 基本要素の設計	13
3.2 シンククライアントシステムの実装方式の選定	14
3.3 シンククライアントシステム構成	20
3.4 運用ポリシー	22
4. ハードウェア占有型シンククライアントシステムの評価	24
4.1 運用実績	24
4.2 運用で得た知見	25
4.3 今後の課題	25
5. おわりに	27
謝辞	28
参考文献	28

Contents

1. Introduction	1
2. Feature of Thin-client System	2
2.1 Thin-client System	2
2.2 Advantage of Thin-client System	2
2.3 Disadvantage of Thin-client System	4
2.4 Implementation Methodology of Thin-client System	5
2.4.1 Server Type	5
2.4.2 Client Computer	11
3. Construction of Thin-client System	13
3.1 Design of Basic Element	13
3.2 Determination of Implementation Methodology	14
3.3 Configuration of Thin-client System	20
3.4 Operation Policy	22
4. Evaluation of Thin-client System with Hosted Desktop Infrastructure	24
4.1 Operation Results	24
4.2 Findings from Operation	25
4.3 Problems	25
5. Conclusion	27
Acknowledgement	28
References	28

1. はじめに

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という）のシステム計算科学センターIT 化推進室は、原子力機構役員、運営管理組織、共通事業組織、拠点管理部門及び各研究開発部門事務室等へ、シンククライアントシステムによるパソコン利用環境を提供し、原子力機構の意思決定、基幹業務及び関連業務の効率的かつ円滑な実施を支えている。

シンククライアントシステムは、パソコン利用環境の情報セキュリティ対策（情報漏洩、不正アクセス等）、効率化（パソコン管理労力の低減）及びコスト削減（省スペース・省電力）を促進するための有効な IT ソリューションとして、官公庁、自治体及び大企業等で導入が進んでいる。

原子力機構は、平成 21 年 2 月にシンククライアントシステム（仮想 PC 方式）を初めて導入し、以降 2 回の更新を経て現在に至っている。シンククライアントシステムの運用実績は 10 年を超え、豊富な実績・知見等に基づき安定運用を実現しており、年間稼働率は 5 年連続で 99%以上を達成している。

現行システムは、平成 29 年 10 月に更新したものであり、そのスペックを決定するにあたっては、さらなる利便性及びコストパフォーマンスの向上を図るため、十分な技術動向調査と過去の実績にとらわれない 0 ベースの構成検討を実施した。その結果、シンククライアント方式については、ハードウェア占有方式を採用することとなり、システム構成（ハードウェア及びソフトウェア）も従来から大幅に変更することとなった。

本報告書は、現行システムの導入に際して整理・検討した、シンククライアントシステムの特徴及び構築方針（基本要件）、その後の運用で新たに得られたハードウェア占有型シンククライアントシステムの実績・知見等についてまとめたものである。

本報告書の内容は、今後の安定運用に資するとともに、次期シンククライアントシステムの導入に役立つものと期待する。

2. シンククライアントシステムの特徴

2.1 シンククライアントシステム

シンククライアントシステムとは、一般的なパソコンの機能をサーバとクライアントに分割し、ユーザが使用するクライアント端末の機能を必要最小限にとどめ、他の全ての処理をサーバ側で実施させるシステムの総称である。「シンククライアント」の語源は、「薄い、少ない」という意味を持つ「Thin (シン)」という単語と、「コンピュータ・ネットワーク上で、サーバにつながっているコンピュータ」という意味を持つ「Client (クライアント)」という単語が合成された造語であると言われており¹⁾、クライアント端末が有する機能が少ないということを意図している。

シンククライアントシステムでは、図 2.1 に示したようにサーバ側で処理された結果画面（画像）のみをクライアント端末に転送し、クライアント端末にはデータやアプリケーションを一切保持しない（実際のデータやアプリケーションはサーバ側に存在）。このため、クライアント端末紛失時の情報漏えいの心配がなく、またシステムの管理においても個々のパソコンや端末ではなくサーバ自体を管理すれば良いため、一元的な集中管理が容易である。一方でユーザからは通常のパソコンを利用しているのと何ら変わりなく感じられる。

このような特徴から、情報漏えい対策を始めとした、情報セキュリティ対策の有効な手段として多くの企業や組織で導入が進んでいる²⁾。

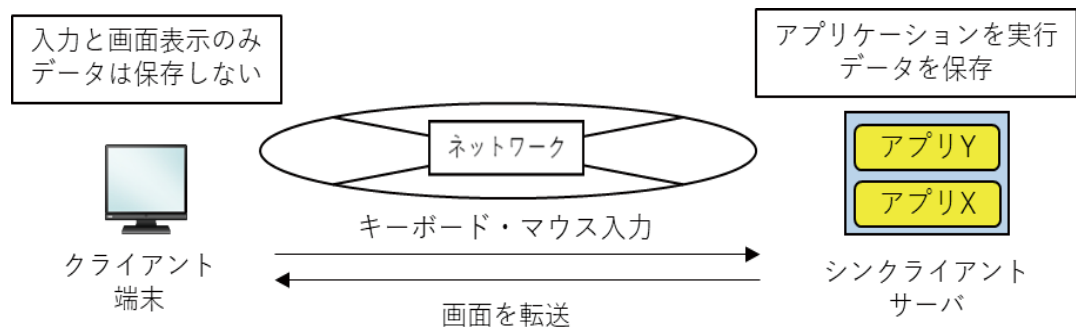


図 2.1 シンククライアントシステムの概念図

2.2 シンククライアントシステムのメリット

① 情報漏えい対策

全ての処理をサーバ側で実施し、その結果を画面転送にてクライアント端末に表示することで、クライアント端末側にデータを保持しないという特徴は、情報漏えい対策に最適である。

これは、原子力機構内はもとより、出張先等でのクライアント端末からの利用においても同様であり、万が一、クライアント端末の紛失や盗難等にあった場合においても、物的被害は生ずるものの情報漏えいは発生しないことを意味する。

② 一元管理

ユーザ毎のデスクトップ環境やデータも含め、サーバ（管理者）側で一元的にシステムを管理することが容易である。①の特徴に加え、一元管理による漏れのない Windows® Update や共通で使用しているソフトウェアのアップデート等を実施することで、情報セキュリティ対策に有効な手段となる。また、サーバ側での日々のバックアップにより全ユーザデータの保全が可能であるだけでなく、OS や共通アプリケーションの使用法や不具合に係る一元的な対応、故障時において管理者側だけでオペレーションが済むこと等、運用面や管理面での効率化も図れる。

③ 利便性

データのバックアップやアプリケーションの管理などがサーバ（管理者）側で実施されるため、ユーザは業務の遂行（アプリケーションの利用）に専念できる。

また、クライアント端末には画像のみが送られる仕組みであり、端末さえ有ればどこからでも全く同じ環境で利用できる。作業途中であっても、そこからすぐに再開ができるなど利便性は高い。これはシンクライアント専用端末以外のクライアント端末（通常のパソコン）からでも可能であり、一層の利便性を有する。

このどこからでも同じ環境で利用できるという特徴は、「働き方改革」の主要な柱の1つである「多様な働き方」の実現に有効であり、かつ環境の構築に重要な情報セキュリティの確保にも適した手段であるため、在宅勤務等において特に効果を発揮する。

④ 省スペース、省電力

ユーザが使用する CPU やメモリ、ディスク等の計算機資源及びデータ等は全てサーバ上に集約・構築される。このため、通常のパソコンを数十～数百台設置した場合と比較して、より小型化され、省スペースかつ省電力である。さらに、ユーザが使用するシンクライアント端末についても、通信機能と画面表示機能のみであり消費電力が少なく、システム全体として省電力化が図れる。例えば、通常のパソコン 100 台と比較すると、スペースで約 80%、消費電力で約 75%の削減が可能である。

2.3 シンククライアントシステムのデメリット

① コスト高

・システムの信頼性

数十～数百台規模のユーザ環境をサーバに集約し、24 時間 365 日安定に運用するため、シンククライアントシステムには高い信頼性が求められる。各構成機器の高信頼化はもとより、機器の冗長化や不慮の停電への対応、さらにはユーザデータのバックアップ装置、システム全体に渡る保守契約など、通常のパソコンと比べて信頼性や機能向上のための追加コストが必要になる。

・各ソフトウェアライセンス

シンククライアントシステムの代表的な実装方式である仮想 PC 方式においては、仮想化用ソフトウェア、画面転送用デリバリーソフトウェア、仮想化環境用 OS、クライアント端末側の画像処理ソフトウェア等、多くのソフトウェアライセンスが必要になる。単に OS だけで済む通常のパソコンに比べてコストアップの要因となっている。

② ネットワークに依存

シンククライアントシステムは、サーバ側で全ての処理を実施し、その結果をネットワーク介してクライアント端末へ画面転送しているため、ネットワークの影響を大きく受ける。ネットワーク不具合による通信断が生じた場合、クライアント端末側では何も出来なくなってしまうし、他の通信がネットワーク帯域を逼迫させるとレスポンス低下につながる。

③ レスポンス低下の発生

シンククライアントシステムは、ユーザ環境をサーバに集約しリソースを共有しているため、前述のネットワーク帯域の逼迫以外でも、レスポンスが低下する場合がある。サーバ内の CPU 競合、メモリ不足、ディスク装置の I/O 競合などが要因である。特に画像処理はソフトウェアで行っており、サーバへの負荷が大きく、画像データの転送量も大きいため、静止画の表示や動画の再生が弱点（ファイルオープンや動画の描写が遅い）となっている。

④ アプリケーションの検証が必要

ユーザが利用するアプリケーションについては、OS 等の環境によって動作しなかったり、動作が遅くなったりする場合があります。検証が必要になる。ユーザが共通に利用するアプリケーションは、事前に検証が可能であるものの、システム導入後にユーザが独自にインストールしたアプリケーションで不具合が発生した場合は、アプリケーションの改修や代替アプリケーションの検討も必要になってくる。

⑤ 障害対応・解決の長時間化、影響範囲の拡大

シンククライアントシステムは、市販のアプライアンスとは違い、ハードウェアやソフトウェアに係る種々の製品を組み合わせる複合的に構成されており、要素技術

が単一でない。このため、障害発生時の問題切り分けや原因特定、問題解決に至るまでに多くの時間を要する場合がある。また、1 つのサーバに複数のユーザ環境を構築しているため、障害の影響がユーザ単体にとどまらず、構築されたグループ単位やシステム全体に及ぶ恐れがある。ハードウェア故障による部品交換や定期的なメンテナンスにおいては、システム全体の停止・再起動を伴うため、その期間シンクライアントシステムのユーザ全員が利用できなくなる。

⑥ システムの導入や運用に知識と経験が必要

ユーザがストレスなく快適に利用できるようにするためには、シンクライアントシステムを構成する要素間のバランスのとれた設計が不可欠である。導入担当者には、必要となるサーバの演算性能（CPU 数やコア数）、メモリ容量、ディスク装置の I/O 性能、ネットワークの性能等について、コストを考慮しつつ適切に設定するための専門知識が求められる。

運用においても、シンクライアントシステム特有の仮想化技術^{3,4)}、システムの正常性確認や起動・停止方法、ユーザ環境の管理方法など、一般的なサーバの管理に加え新たな知識・経験が求められる。

2.4 シンクライアントシステムの実装方式

2.4.1 サーバ実装方式の種類

シンクライアントシステムのサーバ実装方式には、仮想 PC 方式、ブレード PC 方式、サーバベース方式、ネットワークブート方式、ハードウェア占有方式、及びクラウドサービス利用方式がある。以下にこれらの方式についてその概要を示す。

(1) 仮想 PC 方式

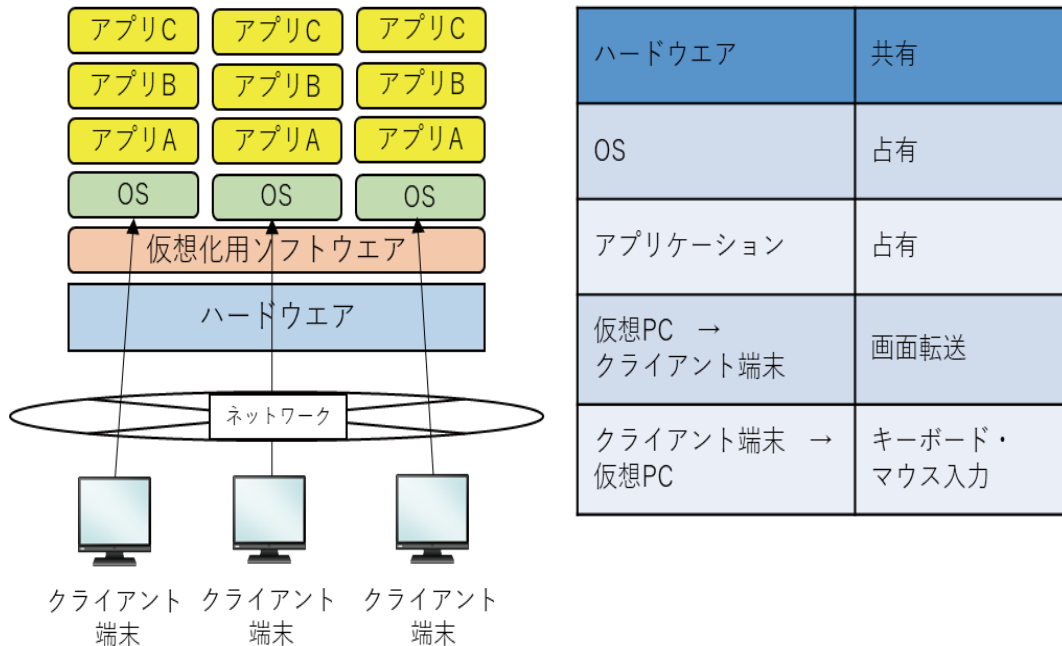


図 2.2 仮想 PC 方式の概念図

仮想化技術（仮想環境）を使用し、サーバ側に独立した個々の仮想的なパソコンの環境（仮想 PC）を複数構築、すべてのユーザはネットワークを経由してユーザ専用の仮想 PC へログインして利用する方式（図 2.2）である。通常のパソコンと同じ感覚で使用することが可能である。

物理環境は共有しているが、仮想化技術を使用することで、クライアント環境（仮想 PC）の独立性は保たれ、ユーザ利便性を確保しながらも管理者側の運用管理の効率化が図れる。

仮想 PC は、ユーザが使用するパソコンが仮想化専用のイメージファイルとしてディスク装置に格納されているため、管理者の操作によって他のサーバへの移動や複製が容易であり、BCP^{*1}の観点からも優位性は高い。一方、ディスク装置は複数の仮想 PC で共有されディスク I/O が高負荷になるため、高い信頼性と性能が求められる。

また、各ユーザの OS やアプリケーションは仮想化専用のイメージファイルとしてディスク装置に格納されており、バックアップ用のディスク装置もユーザが使用するディスク装置と同規模かつ高い信頼性と性能が求められる。

^{*1} BCP : Business Continuity Planning の略称であり、事業継続計画のこと。災害などの緊急事態が発生したときに、企業が損害を最小限に抑え、事業の継続や復旧を図るための計画。

(2) ブレード PC 方式

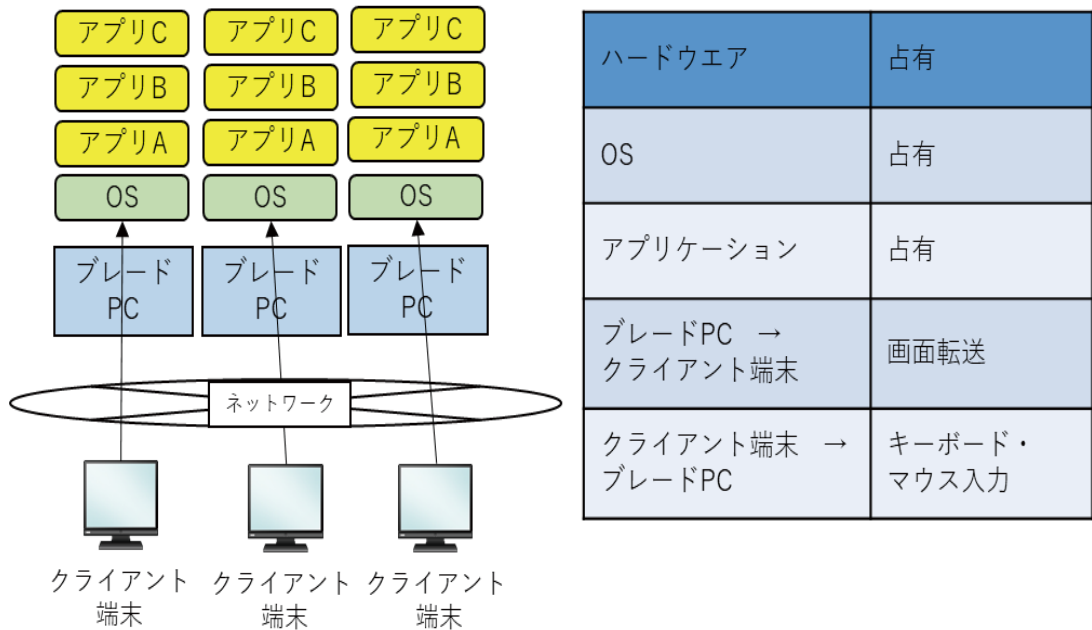


図 2.3 ブレード PC 方式の概念図

パソコン本体を構成する部品（CPU、メモリ、ハードディスク等）をブレード化（基盤に集積）し、1つのブレード上に構築された個人のパソコン環境（ブレード PC）を1人のユーザが専有する方式（図 2.3）である。

サーバ側にユーザ数分のブレード PC を並べ、すべてのユーザはネットワークを経由して個人専用のブレード PC へログインして利用する。通常のパソコンと同じ感覚で利用することが可能である。

ユーザ数に比例してブレード PC 数を増やす必要があり、ハードウェア自体も通常のパソコンよりも高価であること、ブレード PC を格納する専用シャーシや十分な予備部品を備えておく必要もあることから、導入、保守のコストが高くなる。また、ユーザ全員のバックアップを1台毎に実施する必要があり、管理者の手間も大きい。

(3) サーバベース方式

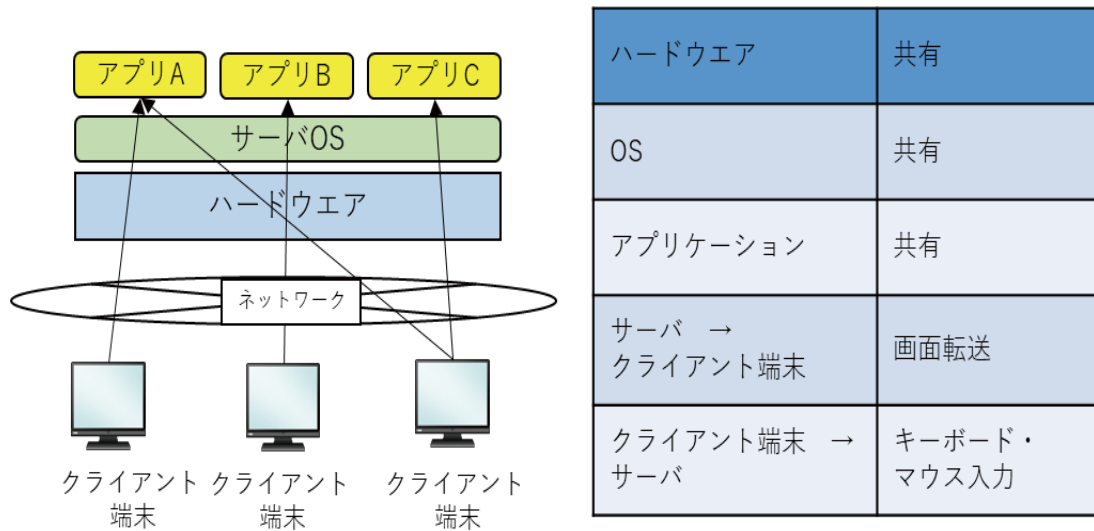


図 2.4 サーバベース方式の概念図

1つのサーバOS上に複数のユーザを登録し、すべてのユーザはネットワークを経由してサーバ上の自分のアカウントへログイン、OSやアプリケーションを共有する方式（図2.4）である。

使用するアプリケーションは、サーバOS上で動作する製品に限定されるとともに、複数ユーザでの同時利用が認められた製品に限定される。また、ユーザの個人環境は構築可能であるが、OSを共有しているため、Cドライブ直下やIPアドレスを意識するアプリケーションで不具合が生じる場合がある。プリントアウトに専用システムを必要とする。

(4) ネットワークブート方式

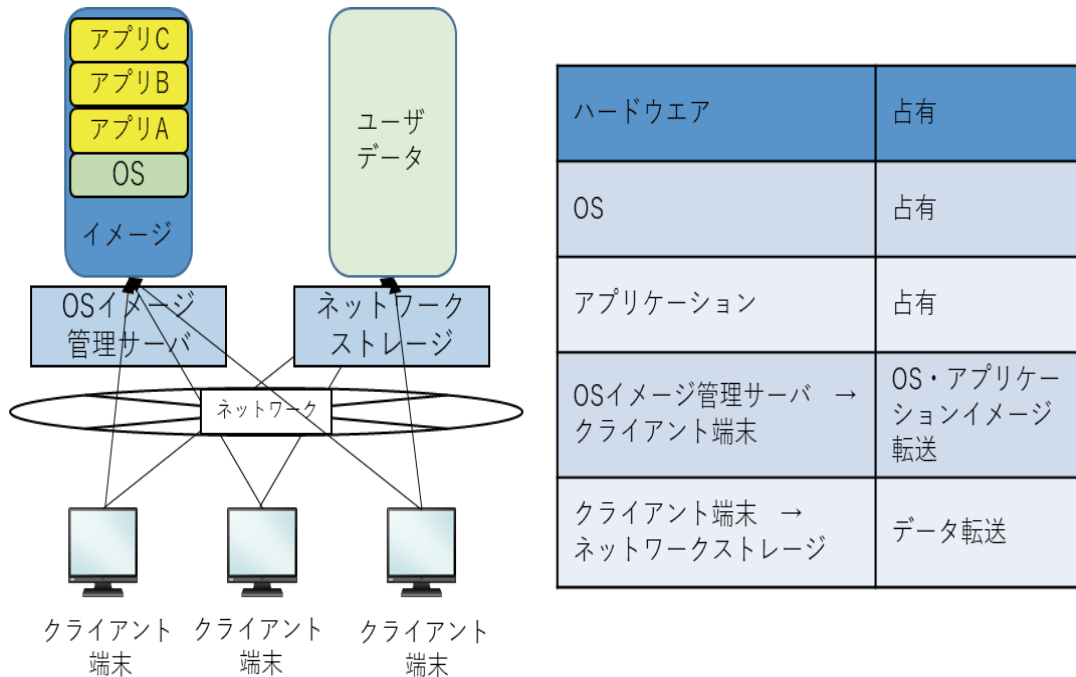


図 2.5 ネットワークブート方式の概念図

OS イメージ管理サーバ側に OS やアプリケーションをイメージ化したファイルを配備し、すべてのユーザはネットワークを経由してサーバに置かれた単一のイメージファイルをクライアント端末へダウンロードして使用する方式（図 2.5）である。

すべてのユーザは、単一のイメージファイルを使用するため、管理者側での OS 等の管理が容易となるが、ネットワークを通じて OS 等をダウンロードして起動するため、ユーザ数に応じた十分なネットワーク帯域とサーバ台数が必要となる。

管理者は、単一のイメージファイルを保守すれば良いが、その半面、ユーザは個人環境が持てない。

ユーザのファイル操作（Microsoft® Word の編集等）はクライアント側へ一時的に保存され、ログアウトとともに消える。このため、ファイル等の保存はユーザ自身がファイル共有やファイル転送を使用し、ネットワークストレージ等へ保管しなければならない。

(5) ハードウェア占有方式

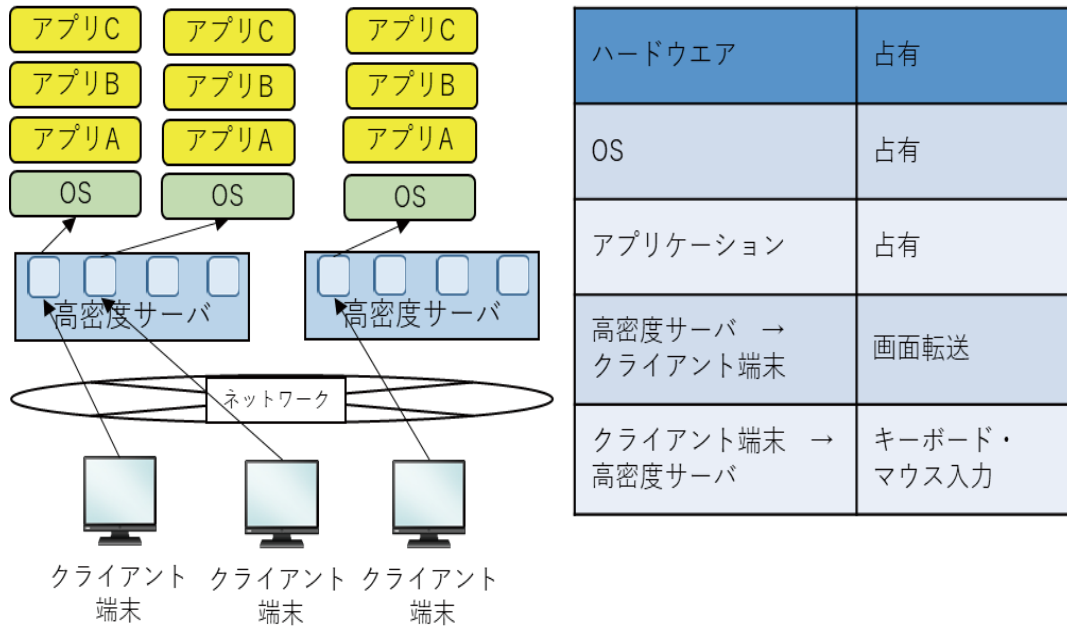


図 2.6 ハードウェア占有方式の概念図

シンクライアントシステム向けに特化して設計・開発された高密度サーバ^{*2}を使用し、ユーザ毎に固定的に割り当てられたハードウェア（高密度サーバの独立した構成要素の一部）を占有して利用する方式（図 2.6）である。

ハードウェアを占有するため、従来のシンクライアントシステムの弱点であった計算機資源不足の発生がなく、他のユーザの高負荷作業の影響を受けない。高密度サーバの故障時においても当該部品を交換するだけで良く、影響範囲の局所化が図れ、システムに実装されたユーザ全員に影響が及ぶことがない。

また、仮想化技術を全く使用していないため、仮想化に関するソフトウェアのライセンスが不要であり、当該技術に精通した技術者も必要ないことから、比較的安価で、通常サーバやパソコンの運用管理経験を基礎に運用管理することが可能である。

^{*2} 高密度サーバ：ブレードPCが1つのブレードに1人用の計算機資源を搭載して1人が占有して使用するのに対し、高密度サーバは、1つのノード（又はカートリッジ）に複数ユーザの計算機資源をそれぞれ独立して搭載し、ユーザは自分に割り当てられた計算機資源を利用する。

(6) クラウドサービスを利用した仮想 PC 方式

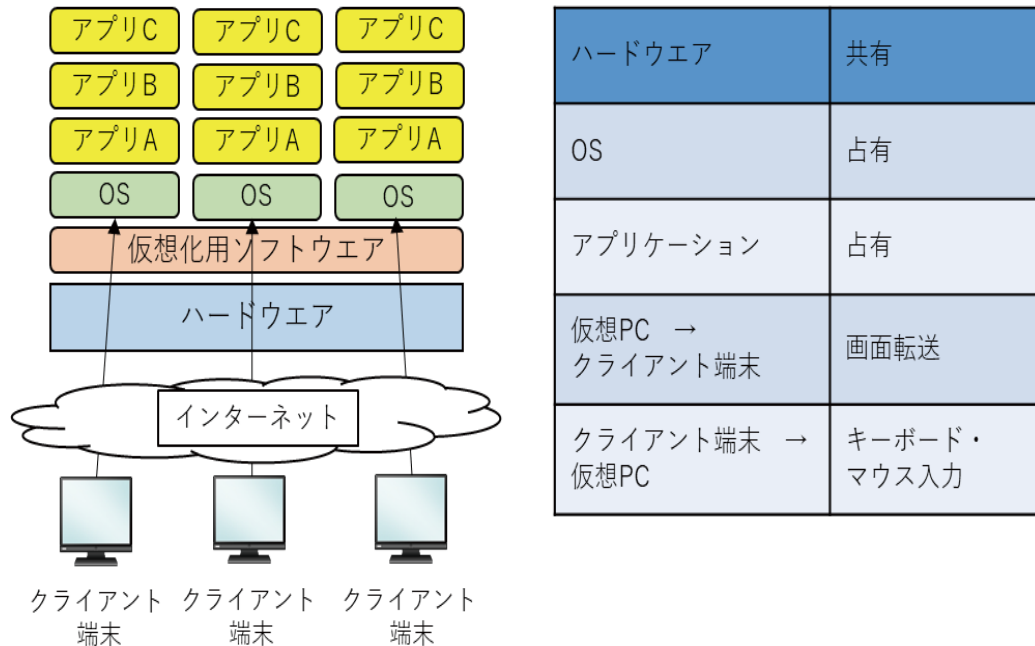


図 2.7 クラウドサービス（仮想 PC 方式）の概念図

クラウド上に構築された、仮想 PC を利用する方式（図 2.7）である。

自組織内でサーバ等の整備や運用をする必要はないものの、業務に係る各種の情報をクラウド上に保管することになるため、十分な情報セキュリティ対策が不可欠である⁵⁾。例えば、クラウド事業者の選定に際しては、日本国内にクラウドサーバを整備していること、情報セキュリティ対策も原子力機構と同等以上であることなどを確認する必要がある。また、クラウドサーバと原子力機構間に専用のネットワーク回線を設けるなどの対策も必要であり、クラウド利用であってもコストはそれなりにかかる。

2.4.2 クライアント端末の種類

クライアント端末は、端末に実装される OS の違いによって、大きく次の 2 つに分類される。どちらも、OS をメモリに焼き付ける形で搭載し、シンククライアントシステム利用時はサーバ側で処理された画像を表示、キーボードやマウスの入力をサーバへ送信するだけの処理を行う。電源 OFF 時には、OS 以外は全て消去され、クライアント端末には何も残らない。

(1) シンククライアント端末専用 OS

Linux をベースにシンククライアントシステムを利用するための機能に絞り込まれた専用 OS である。このため、OS は 4MB 程度の軽いものである。専用の OS（ゼロ

クライアントとも呼ぶ) であるため、単体では何もできず、起動するための最小限の設定のみで、シンクライアントシステムを利用する設定ファイルもネットワークを介してサーバからダウンロードする。

(2) Windows® IoT(Embedded)

Windows®をベースにした OS である。このため、OS の容量も 4GB 程度と大きくなる。Windows®がベースであるため、単体でもブラウザの機能等を有しており、原子力機構外からシンクライアントシステムを利用する際に必須となる SSL-VPN 装置での認証も可能である。

3. シンククライアントシステムの構築

3.1 基本要素の設計

① 対象となるユーザ層の選定

シンククライアントシステムの利用対象となるユーザ層は、

- ・シンククライアントシステムのメリットを活かせる者
- ・共通の利用環境で業務に支障がない者（コスト圧縮・一元管理の観点から）

とした。

原子力機構において研究・開発に従事する職員等の多くは、独自のアプリケーションや特別なスペックのパソコンを必要としており、共通の利用環境にはなじまない。このため、事務業務を中心とし、出張や在宅勤務等により自席以外での利用が多い方を対象とすることとした。今回の整備では、役員を始め出張の多いユーザ及び在宅勤務ユーザを対象として 100 人分を用意することとした。

② 利用アプリケーションの選定

事務業務を中心としたことから、今回の整備では、事務業務に共通に利用されるアプリケーションの標準的な仕様として、Microsoft® Office 2016、ジャストシステム JUST PDF™、ウイルス対策ソフトを選定した（OS は Windows® 10 Pro）。なお、このアプリケーションの選定によっては、シンククライアントシステムの実装方式の選定やコストに影響がでる。

③ ユーザ毎の計算機資源決定

共通で利用するアプリケーションと OS が問題なく動作するために必要な CPU（コア数）、メモリ容量、ハードディスク容量等を決定する。

今回の整備では、業務用のパソコンが一般的に具備している計算機資源を参考に、1 ユーザあたり、

- CPU：1CPU（2 コア以上）、
- メモリ：8GB 以上、
- ハードディスク：120GB 以上、
- NIC：1Gbps 以上、
- GPU：有り

とした（仮想 PC 方式の場合は相当）。

④ システム信頼性確保のための対策

システムの信頼性を確保するため、今回の整備では以下の対策を取り入れることとした。

- ・データバックアップ：ユーザデータ及びシステムファイルの保全のため毎日 1 回バックアップを実施する。バックアップ方式は「Acronis True Image™ バ

ックアップ」を採用し、ユーザの環境をそのままバックアップとリストアが可能な方式とした。

- ・冗長構成：ユーザのアカウント情報を管理する管理サーバの故障やネットワーク停止が発生した場合、ユーザ全員がシンククライアントシステムを利用できなくなる。このため、管理サーバとネットワークスイッチを冗長構成とした。
- ・監視・通報機能：シンククライアントシステムを構成する機器（クライアント端末を除く）を常時監視する機能を管理サーバに導入し、機器等が故障した場合や何らかの不具合（通信障害、動作不良等）が発生した場合、保守業者はもとよりシステム計算科学センターの関係者へメールにて通報することで、迅速な検知と対応を可能とした。
- ・非常系電源への接続：シンククライアントシステムは、役員をはじめ、出張等の多い職員へ優先的に貸与している。このため、平日の勤務時間はもとより、夜間や休日においても予期せぬ停止は許されないため、商用系の電源ではなく、非常系の電源へ接続を行った。これにより、年に1回の非常系電源の法定検査時（点検時は事前アナウンスを実施）以外は連続した運転を可能とした。

3.2 シンククライアントシステムの実装方式の選定

① サーバ実装方式の選定

2.4.1 項で述べたサーバ実装方式を比較した結果を表 3.1 に示す。

対象とする業務（利用シーン）とセキュリティリスクを考慮し、仮想 PC 方式もしくはハードウェア占有方式とする。両者はほぼ同等の機能を有する。ハードウェア占有方式は日本での導入実績が少ないものの、仮想 PC 方式に比べ、

- ・ソフトウェアライセンス費用等が安価で費用対効果に優れる
- ・ユーザ環境が独立しているため、他のユーザの高負荷作業の影響を受けない

ことから、今回の整備では「ハードウェア占有方式」を選定した。

また、ハードウェア占有方式としては、HP 社の HDI 方式⁶⁾とアセンテック社の RPA 方式⁷⁾がある。両者の比較結果を表 3.2 に示す。HDI 方式は、RPA 方式と比べて、

- ・4 ユーザ単位で増減が可能で有り、ユーザ数の変更柔軟に対応できる
- ・メモリやディスク容量も自由に設定できる
- ・サーバ機用の部品を使用しており MTBF が長い

ことから HDI 方式を採用した。

② クライアント端末の選定

2.4.2 項で述べたシンククライアント端末専用 OS と Windows® IoT を比較した結果を表 3.3 に示す。

シンククライアント端末専用 OS は、軽い OS であり、メンテナンスが容易であるものの、機器を起動する最低限のソフトウェアのみが搭載されているため、シンククライアントシステムのクライアント端末として動作させるためには、サーバ機から端末設定ファイルをダウンロードする必要がある。

Windows® IoT は、Windows®がベースとなったソフトウェアが搭載されており、端末設定ファイル等をダウンロードする必要はなく、RDP 接続にてシンククライアント本体へ接続が可能である。

また、クライアント端末には、小型のボックスタイプと、ノートパソコン型のノートタイプがある。ボックスタイプは比較的安価であり、ノートタイプはボックスタイプの倍程度の価格である。

このため、原子力機構内での利用時には「クライアント専用 OS のボックスタイプ」とし、原子力機構外部からのアクセス（クライアント端末の持ち出し）が必要な場合は「Windows® IoT のノートタイプ」を採用した。

③ サーバとクライアント端末通信方式の選定

サーバとクライアント端末間の通信方式（プロトコル）を表 3.4 に示す。

RDP（Ver. 8.0 以降）はシンククライアントシステムでの実績は少ないものの、

- ・UDP マルチストリーミングを用いて狭帯域でも通信が可能である
- ・ユーザが使用する PC の OS である Windows®に標準で搭載されているため別途ライセンス費用が発生しない

ことから、RDP を採用することとした。

表 3.1 サーバ実装方式の比較

原子力機構内整備						クラウド利用
	仮想PC	ブレードPC	サーバベース	ネットワークブート	ハードウェア占有	仮想PC/ サーバベース 企業の営業(外回り)業務
シンクライアントの方式						
主な利用シーン	一般的な事務業務	CADやOG等の高性能PCが要求される業務	コールセンターや在庫管理等の定型業務	学校やパソコン教室等の集合教育	一般的な事務業務	
利用形態	・個人毎に用意されたOS・アプリを利用 ・自分専用の仮想PCへログインして使用	・個人毎に用意されたOS・アプリを利用 ・自分専用のPC(ブレードで構築)へログインして使用	・全員が同じOS・アプリを利用 ・サーバへログインして、OS・アプリを共用	・全員が同じOS・アプリを利用 ・サーバ上のOS・アプリを端末へダウンロードして使用	・個人毎に用意されたOS・アプリを利用 ・自分専用の物理PCへログインして使用	・クラウドに構築されたOS・アプリを利用 ・クラウドにログインして使用
導入実績	多	少	中	少	少	中
課題	・仮想化専用のライセンスが高価 ・高信頼性ディスクが必須	・ユーザ数分のブレードが必要になる等、物量が多くの高価 ・運用コスト大(運用支援要員費)	・動作しないアプリ有り(グローベリア、リシテア等) ・ユーザ毎のアプリ追加不可 ・プリントアウトに専用システムが必要	・個人毎の利用設定不可(メール等の利用に影響) ・ユーザ毎のアプリ追加不可 ・回線の増強必須 ・プリントアウトに専用システムが必要	・日本では導入事例が少ない ・原子力機構情報の外部保管であり取扱情報に制限 ・情報の流通経路全般にわたるセキュリティ対策が必須 ・原子力機構の各種規程類の適用困難	
セキュリティリスク	(通常のPCより低い)	(通常のPCより低い)	(通常のPCより低い)		(通常のPCより低い)	・事業者のセキュリティ対策が不明 ・原子力機構情報の持出しによる情報漏えい
TCO	中	高	低	高	中	中
費用対効果	中	低	高	低	高	低
原子力機構への適否	○	△	×	×	◎	×

表 3.2 HDI 方式と RPA 方式の比較

	HDI	RPA
1 ユーザの環境	CPU:AMD X2170(4-core,2MB Cache) GPU:RADEON R5E MEM:8GB (変更可) DISK:SSD 120GB (変更可)	CPU:Intel Celeron(2-Core,1MB Cache) GPU:－ MEM:4GB (変更不可) DISK:SSD 128GB (変更不可)
MTBF	6年	3年
最小単位	4 ユーザ	20 ユーザ
最小単位を超える追加	180 ユーザまでは、カートリッジ (4人分)	20 ユーザの筐体
1 ユニットでの最大ユーザ数	180 ユーザ	20 ユーザ
AD、WSUS等のサーバ機能	サーバ用カートリッジ(m710p)を搭載すること で対応可能。別途用意でも対応可能。	別途用意
バックアップ用ストレージ	必要	必要
UPS	必要	必要
導入・運用実績	多数	少数

表 3.3 クラウドクライアント専用 OS と Windows® IoT の比較

	専用OS	Windows® IoT
セキュリティ		
クライアントOS	シンクライアントを利用するためのだけの専用OSであるため、セキュリティリスクは低い。	メモリに焼き付けられているものの、Windows®OSであるため、動作中にウイルス等の混入リスクがある。
盗難・紛失時	接続状態時以外は、情報を持っていないため、機構情報の漏えいリスクがない。	同左
電源OFF時	焼き付けられているOS以外は消去される。	同左
メンテナンス		
一括集中管理	可能	同左
実施	4MB程度の非常に軽いOSであるため、容易に可能	ベースがWindows®であるため、4GB程度と大きく、メンテナンスの都度、原子力機構に持って来る必要がある。
価格		
ボックスタイプ	○ (安価)	同左
ノートPCタイプ	△ (ボックスタイプの倍程度)	同左
その他		
原子力機構外からのアクセス	不可	可能
シンクライアント以外の用途	不可	本体へのファイルの保存は出来ないが、ブラウザ等のWindows®機として使用が可能。

表 3.4 ICA と RDP8.0 の比較

	ICA	RDP8.0以降
セキュリティ		
機能	Xenの機能にてUSBやファイルコピー等の制限が容易	ADの機能にて制御可能
原子力機体内	独自の暗号化通信により保護	SSLの暗号化通信により保護
原子力機体外	SSLの暗号化通信により保護 (NetScaler)	SSLの暗号化通信により保護 (SSL-VPN)
通信帯域		
通常使用	200kbps以上	同左
最低	64kbps	64kbps (UDPを使用する。)
コスト (必要となるライセンスと費用)		
自席PCへのアクセス	Citrix XenDesktop Enterprise Microsoft® VDA	不要
RPAやHDI等	Citrix XenDesktop Enterprise Microsoft® VDA	Microsoft® VDA
その他		
在宅や出張先での利用	自宅の回線 (ADSL、光回線等)、モバイルWi-fiにて利用が可能であり、在宅勤務や出張先での利用が可能。	同左
利用可能な端末	ICAレシーバのインストールが必須	・ Windows系端末であれば、そのまま利用可能 ・ iOSやAndroid端末、スマートフォンから利用する場合は、RDPレシーバのインストールが必要。
利用について	Citrixのライセンス費が高価	RDP8.0以降であればICAと遜色なく狭帯域でも問題なく動作し、自席PCの利用であれば追加の費用も発生しない。
導入実績	これまでの実績における大半がICAを用いており、安定性があると思われる。	シンクライアントシステムでの実績は少ないが、RDP8.0以降であればICAと遜色ないとのこと。

3.3 シンククライアントシステム構成

(1) ハードウェア構成

① 全体構成

構築したシンククライアントシステムのハードウェア全体構成を図 3.1 に示す。

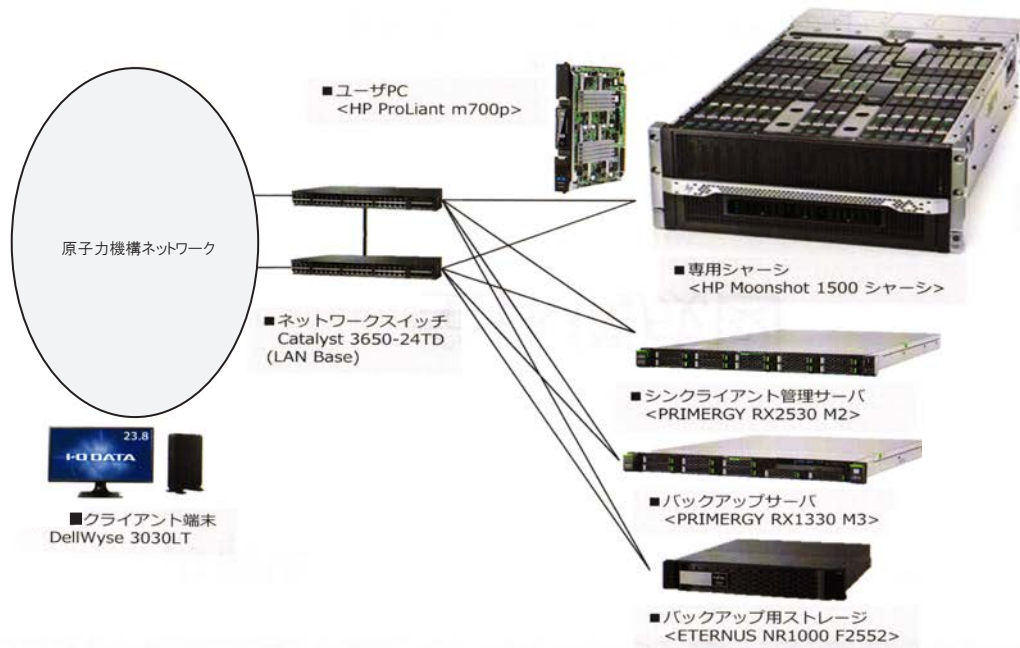


図 3.1 ハードウェア構成

② 各構成要素

・ ユーザ PC

ユーザ PC は 1 ボード（カートリッジ型）に 4 人分の計算機資源（1 人当たり、4 コア/1CPU、8GB の MEM、120GB の SSD、1Gbps の NIC、GPU）を搭載している。

・ 専用シャーシ

専用シャーシはユーザ PC を 45 枚格納することが可能な HDI 専用のシャーシで、バックボーンに電源やネットワーク回路を持つ。今回の整備では EIA 規格準拠の 19 インチラック 1 本にユーザ PC 25 枚を装着した専用シャーシを 1 台搭載した。

・ シンククライアント管理サーバ/バックアップサーバ

ユーザのアカウント情報を管理するサーバ（Active Directory®）、各ユーザ環境のバックアップ・リストア（Acronis True Image™ バックアップ）をコントロールするバックアップサーバである。これらは兼用させ、1 台が故障しても運用が継続可能となるよう冗長構成とした。

- ・バックアップ用ストレージ

ユーザ毎の SSD に格納された全ての情報はイメージ化され、バックアップ用ストレージに定期的（原則として 1 回/1 日）にバックアップされる。世代管理として 3 世代（＝3 日間）を管理することとした。

- ・ネットワークスイッチ

ネットワークスイッチは、専用シャーシとバックアップ用ディスク装置を 10Gbps で接続するとともに、シンククライアントシステムと原子力機構 LAN を接続する。故障による運転停止を避けるため、ネットワークスイッチは冗長化構成とした。

(2) ソフトウェア構成

ユーザ共通に利用されるソフトウェア構成を表 3.5 に示す。

表 3.5 ユーザ共通ソフトウェア構成

基本 OS	Windows® 10 Pro
資料作成ソフトウェア	Office 2016 Standard
PDF 化ソフトウェア	JUST PDF3
サービス管理用時刻取得ソフトウェア	LYSITHEA
ウイルス対策ソフトウェア	McAfee® Endpoint Security
資産管理ソフトウェア	ITAM

サーバで利用するソフトウェア構成を表 3.6 に示す。

表 3.6 サーバ用ソフトウェア構成

基本 OS	Windows Server® 2012 R2
バックアップ用ソフトウェア	Acronis Backup Standard Server
監視・通報ソフトウェア	ServerView Operations Manager
Windows®展開機能	WDS for Moonshot
端末 boot 設定機能	WNOS.ini
ユーザ PC 監視機能	AES Node Manager

(3) 構成の工夫

① シンククライアント管理サーバへの機能集約

通常のシステムでは機能毎に単独で整備するサーバを、資源の効率的活用の観点から集約した。集約した機能は次のとおり。

- ・ユーザが Windows®を使用するための初期設定を行う「Windows®展開機能」
- ・ユーザのアカウント管理を行う「Active Directory®」

- ・各 PC の監視を行う「監視機能」
- ・シンククライアント端末起動時の設定を保持する「端末 boot 設定機能」
- ・シンククライアントシステム環境における独自の「DNS 機能」
- ・バックアップを行う「バックアップ管理機能」

② 監視機能による異常検知と SSL-VPN を利用したリモートメンテナンス

保守業者による監視及びリモートメンテナンスについては、コスト削減のため、専用線を用いた VPN 経由の 24 時間 365 日の監視ではなく、監視機能による異常検出と関係者へのメール送信とし、異常検知時の対応は原子力機構の SSL-VPN を用いたリモートメンテナンスとした。

3.4 運用ポリシー

① 利用者権限

一般的な事務業務を実施するソフトウェアについては、一括して導入し管理を行っているが、ユーザによっては使い慣れたソフトウェアをインストールする必要がある。シンククライアントシステムでは、ユーザ個別のソフトウェアインストールを可能とするため、管理者権限を付与した。

② アカウント

ユーザがシンククライアントへログインする際に使用するアカウントは、ユーザ毎にシーケンシャル番号で規定し、利用者をユーザ管理サーバの Active Directory®にて紐付けするとともに、ログイン時に認証を行うこととした。

③ パスワード

導入当初、パスワードは 90 日に一回変更するよう Active Directory®へ設定していたが、原子力機構内のパスワード更新ポリシーの変更に伴い、10 文字以上であれば変更を求めない方式とした。

④ データバックアップ

データバックアップとしては、各ユーザの SSD に格納されている OS、アプリケーション、データを丸ごとバックアップする「Acronis True Image™ バックアップ」を使用し、初回や Windows®のメジャーアップデート時のみ「丸ごとバックアップ」を行い、それ以外は差分のみをバックアップを行うこととした。

差分バックアップは、火曜日から日曜日まで毎日取得し、3 世代（3 日間）のバックアップとした。バックアップに要する時間は、AM1:00～AM4:00 の間に 100 台分が完了するように設定した。

⑤ Windows® Update と再起動

情報セキュリティを担保するうえで、Windows® Update は必須であり、ダウンロード自体は Windows®の標準機能にて毎日実施し、インストールは Active Directory®の設定にて毎週土曜日の AM1:00 から実施するようにした。基本的に

Windows® Update の適用は再起動を伴うが、平日は利用していることが想定されるため、毎週月曜日の AM1:00 に全台の再起動を行うこととした。

⑥ USB 利用

USB については、通常のパソコンと同様に利用可能とした。クライアント端末からは RDP のポートリダイレクション機能を用いることで USB 機器の利用が可能である。

⑦ サインインとサインアウト

クライアント端末からは、サインインとサインアウトのみを可能とした。通常のパソコンであれば、端末を落とす際にはシャットダウンが一般的であるが、シンクライアントシステムでは、電源を切ってしまうと管理者からしか電源の投入ができないためである。

なお、ソフトウェアのインストールや Windows® の設定変更時等、再起動を実施しないと反映されない場合を想定し、C ドライブ直下に「再起動.bat」というバッチ処理ファイルを作成し、ユーザが任意で実行できるようにした。

4. ハードウェア占有型シンクライアントシステムの評価

4.1 運用実績

運用開始から平成 31 年 3 月までの運用実績を表 4.1 及び表 4.2 に示す。

表 4.1 平成 29 年度運用実績一覧

(平成29年度)

	物理 P C (Moonshot全体)					サービス率(%)
	日数×24hr	定期メンテナンス停止	運用可能	障害停止	実運用	
	時間	時間	時間	時間	時間	
2017/10	744.00	0.00	744.00	0.00	744.00	100.00
2017/11	720.00	0.00	720.00	1.00	719.00	99.86
2017/12	744.00	0.00	744.00	0.50	743.50	99.93
2018/01	744.00	0.00	744.00	1.00	743.00	99.87
2018/02	672.00	0.00	672.00	1.50	670.50	99.78
2018/03	744.00	0.00	744.00	0.00	744.00	100.00
年間平均サービス率：					99.91	

※ 障害停止は、メモリエラー誤検知による交換作業（当該ユーザのみ停止）

表 4.2 平成 30 年度運用実績一覧

(平成30年度)

	物理 P C (Moonshot全体)					サービス率(%)
	日数×24hr	定期メンテナンス停止	運用可能	障害停止	実運用	
	時間	時間	時間	時間	時間	
2018/04	720.00	0.00	720.00	0.00	720.00	100.00
2018/05	744.00	0.00	744.00	0.00	744.00	100.00
2018/06	720.00	0.00	720.00	0.00	720.00	100.00
2018/07	744.00	39.00	705.00	0.00	705.00	100.00
2018/08	744.00	0.00	744.00	0.00	744.00	100.00
2018/09	720.00	13.00	707.00	0.90	706.10	99.87
2018/10	744.00	0.00	744.00	0.00	744.00	100.00
2018/11	720.00	0.00	720.00	0.00	720.00	100.00
2018/12	744.00	0.00	744.00	0.00	744.00	100.00
2019/01	744.00	0.00	744.00	0.00	744.00	100.00
2019/02	672.00	0.00	672.00	0.00	672.00	100.00
2019/03	744.00	0.00	744.00	0.00	744.00	100.00
年間平均サービス率：					99.99	

① 無故障による連続運転（誤検知を除く）

導入後、誤検知以外のハードウェア故障による停止は 1 回も発生しておらず、停電時における停止以外は、無停止の連続運転を実現している。

② ハードウェアファームの不具合による誤検出

導入時において、「メモリエラー」が数回発生し、都度、エラーが発生したメモリを交換していた。再起動すると問題なく使用可能であった（通常はブルースクリーンとなり、使用不可能となる）ため、本件を導入ベンダーに伝え、根本的な原因調査を依頼した。

その結果、メモリエラーではなく、専用シャーシのファームウェアと GPU のグラフィックドライバ間の不具合がメモリエラーとして検出されていることが判明した。本件の不具合解消後、メモリエラーの発生はなくなった。

4.2 運用で得た知見

① 通常のパソコンと遜色のない使用感

ユーザが使用する計算機資源は、GPU 内蔵の 4 コア CPU と 8GB のメモリ、120GB の SSD であり、一般的な PC とほぼ同じスペックであるため、一般的な事務業務を行ううえで、動作遅延等による不具合は発生しなかった。また、グラフィック処理を GPU にて処理しているため、JPEG や PDF の静止画の閲覧はもとより、国会中継等の動画再生においても特段の遅延はなく、スムーズな再生によるストレスのない閲覧が可能であった。

② 問題発生時において原因の特定が容易

シンクライアントシステムを構成する部品やソフトウェアが必要最低限であるため、問題が発生した際において原因の特定が容易となった。

具体的な事例としては、前述のメモリエラーの件に加え、バックアップ処理遅延が発生した際においても、バックアップ用ソフトウェアの不具合であることが直ぐに判明した。

③ RDP8.0 は狭帯域でも問題なく利用可能

RDP8.0 の通信（速度、安定性）について事前検証は十分に実施したものの、導入当初は若干の不安があった。導入後から現在に至るまで業務を行う上で特段問題になることはなく、海外からでも問題なく利用が可能であることがわかった。

④ 運用管理者への負担が少ない

運用管理者は、仮想化方式の際に求められる仮想化用ソフトウェアや高速ディスク内に構築されるユーザのイメージデータ処理等の高度な知識は必要なく、通常パソコンの運用管理程度の知識があれば良い。基本的に故障が発生しにくい構成であり、故障時においても当該部品の交換（交換作業自体は保守契約にて実施）を行う程度である。

また、Windows® Update やバックアップは Active Directory®によりバッチ処理されるため、運用管理者への負担は少ない。

4.3 今後の課題

① ハードウェア占有型シンクライアントシステムの動向調査

実勢としては、仮想 PC 方式が圧倒的に市場を席巻しているため、ハードウェア占有型シンクライアントシステムの種類（選択肢）が少ない。

しかし、実際にハードウェア占有方式を採用し、コストパフォーマンスの高さ（ユーザ毎に計算機資源が占有して割り当てられ高速に処理しており、「処理が遅い」等のクレームが皆無）や故障の少なさ、必要最小限のライセンスだけで良いこと等を実感しており、ハードウェア占有方式は有効な実装方式と考えている。現在のシンクライアントシステムの更新時期までに、引き続き市場を調査し、後発品等を含め、よりコストパフォーマンスの高い製品の選定を行っていく必要がある。

② 通常パソコンのシンクライアント端末化

クライアント端末は、基本的には OS 以外は何も入っていない状態にも係わらず、通常のパソコンより高価である。クライアント端末自体がハイスペックである必要もないため、古くなり廃棄予定のパソコンを初期化し、パソコンをシンクライアント端末化するソリューションが有効と考えている。これにより、クライアント端末の導入費用の削減も可能となる。

5. おわりに

原子力機構のシンククライアントシステムは、今回の導入で 3 システム目となる。従前は、主流の仮想 PC 方式を採用し、最大規模 500 ユーザとして導入・運用を図ってきた。仮想 PC 方式のシンククライアントシステムは、種々の要素技術の組み合わせで複合的に構成されており、運用管理が複雑であることに加え、一度障害が発生すると問題の切り分けが難しく、障害解決に長時間を要するケースが散見されていた。ソフトウェアライセンスに係る費用も高額で、保守等も含めシステム全体としてコスト高であることが大きな課題となっていた。

一方でシンククライアントシステムの有効性は、情報セキュリティの観点から高く評価されており、単純に一般的なパソコンに切り替えればいいというわけではない。前述の課題を解決すべく、関係者で議論を進め、一般的なパソコン本体を集約し一元的に管理し、パソコン本体へのアクセスをシンククライアント端末で行うシンプルな方式とすれば、安価に構築でき、運用管理も一般的なパソコンと同じなので容易なのではないかとの結論に達した。

しかしながら、一般的なパソコンは連続した長時間運転を想定して設計されているものではなく、24 時間 365 日の運転を前提とするシンククライアントシステムとしては、電源装置やディスク装置などの信頼性に劣る。このような状況の中、前述の結論に合致し、システムの信頼性が高く、シンククライアントシステム専用設計された「ハードウェア占有型」に行き着いた⁸⁾。当初は、導入事例が少なく運用面での心配が想起されたが、仮想 PC 方式に比べ大きく簡素化された構成に鑑み、障害等の対応も長期化・広範囲化することはないと判断し、採用を決めた。

ハードウェア占有型のシンククライアントシステムを導入して早 1 年半が経過したが、当初の心配は杞憂に終わった。障害の発生はほとんどなく、運用は安定している。また、ユーザ環境も独立しており、SSD のディスク装置を備えるなどしたことで快適な利用環境が整っている。管理面でもほとんどの業務が Active Directory®による一括管理でまかなえ、管理者の負担は従前の仮想 PC 方式に比べ大きく軽減された。

このように、今回ハードウェア占有方式を採用したことは有効であった。ハードウェア占有方式を採用したことで、ソフトウェアライセンス費等の圧縮が可能になり従前の仮想 PC 方式に比べコストダウンも図れた。しかし、一般的なパソコンに比べればまだまだコスト高である。当該シンククライアントシステムの更新時期までに、さらなるコストダウンに向けた検討を進めたい。

謝辞

本報告書をとりまとめるにあたり、ご指導とご助言を頂いたシステム計算科学センターの武宮博センター長、久米悦雄副センター長、IT 化推進室の久野哲也室長に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) エス・アンド・アイ株式会社, シンクラ概論 :
<https://sandi.jp/column/corpus-thinclient/20140909.html>
(accessed 2019-03-14) .
- 2) 株式会社日本 HP, 導入事例 :
<http://jp.ext.hp.com/thin-clients/casestudy/>
(accessed 2019-02-12) .
- 3) 遠山洋平, 田口貴久, VMware 設計・構築・運用プロフェッショナルガイド,
秀和システム, 2013, 535p.
- 4) Scott Lowe, Nick Marshall 他, マスタリング VMware vSphere 5.5,
翔泳社, 2014, 896p.
- 5) NRI セキュアテクノロジーズ, クラウド時代の情報セキュリティ,
日経 BP 社, 2010, 206p.
- 6) 株式会社アクシオ, HP Moonshot HDI :
<http://www.axio.co.jp/products/hp/moonshot.html>
(accessed 2019-02-13) .
- 7) アセンテック株式会社, リモート PC アレイ :
<https://www.ascentech.co.jp/solution/rpa/rpa.html>
(accessed 2019-02-14) .
- 8) 朝日インタラクティブ株式会社, リモートデスクトップの新たな潮流 :
https://japan.zdnet.com/extra/hp_201504/35063088/
(accessed 2019-03-19) .

国際単位系（SI）

表 1. SI 基本単位

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質량	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表 2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

表 3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光束度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照射度	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq		s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性化	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。

(c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてののみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてののみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。

(g) 単位シーベルト (PV, 2002, 70, 205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表 4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
角速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱流密度, 放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量, エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ⁻³ s ⁻¹ mol

表 5. SI 接頭語

乗数	名称	記号	乗数	名称	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表 6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	′	1′=(1/60)°=(π/10 800) rad
秒	″	1″=(1/60)′=(π/648 000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表 7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表 8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デシベル	dB	

表 9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI 単位で表される数値
エル	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁴ cd m ⁻²
フオト	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² =10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(a)	Oe	1 Oe Δ (10 ³ /4 π) A m ⁻¹

(a) 3 元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「 Δ 」は対応関係を示すものである。

表 10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 フェルミ=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1 メートル系カラット=0.2 g = 2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal=4.1858 J (「15℃」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
ミクロン	μ	1 μ =1 μm=10 ⁻⁶ m

