

(1)課題概要

①【技術開発の概要・目的】

民生部門での消費電力が急増しているデータセンタ(特に中小規模)の抜本的な低炭素化を実現する。同データセンタでは、省エネ技術適用が遅れているだけでなく、高発熱・高集約型のサーバ設置による中・高発熱密度部分と記憶装置等に限定した低発熱密度部分とが混在する環境に対して単一の冷却方式を適用していることも、電力効率が上がらない要因になっている。一方、

③「高発熱密度に対しては一般の空調技術が適用出来ない」、

④「データセンタ全体の電力効率が向上しても、冷却電力はゼロにならない」、

という本質的な問題がある(「PUE=1.1」の壁:参考 図3参照)

この本質的な問題を解決するため、発熱密度毎に最適な冷却方式(発熱密度に応じた液体浸潤と空調とのハイブリッド方式)を開発することで、停電や冷却機器の故障時でも自立可能な、抜本的省エネデータセンタ(ICT機器以外の消費電力がnearlyゼロシステム:「PUE=1.0(注1)」)を実現する。

(注1) PUE=1.02を具体的な最終目標とした。(参考 図1参照)

②【技術開発の内容】

○重要な開発要素

各開発要素に対して最適な冷却手法を開発した結果、年間平均値としてPUE=1.02を実証。

A1.【高発熱密度対応液浸冷却技術(冷媒浸潤)】

自然対流方式の液浸槽に最適な構造のクーリングプレートと気泡対流冷却を組み合わせ、フロリナート(FC-3283)とシリコンオイル(KF-96-6cs)の両冷媒において、年間平均値でPUE=1.02を実証。

A2.【中発熱密度対応液浸冷却技術(冷媒滴下)】

効果的な冷媒の滴下構造と冷媒ガイドの最適化により、年間平均値でPUE=1.02を実証。

A3.【低発熱密度対応冷却技術(空調)】

熱交換器コイルや流路の形状を最適化により、集中冷却システムで実測した消費電力を、各負荷に応じて按分した低発熱密度分のPUEとして、年間平均値でPUE=1.02を実証。

A4.【エネルギーミニмум集中冷却技術】

A5.【液流体解析による最適化技術】

B. 開発要素のシステム統合と、C.その実証

各要素技術毎に、エネルギーミニмум集中冷却技術(上記、A4)との組み合わせによるシステム統合を行った。(図1)

実際の利用シーンでは、各要素(利用シーン)毎に発熱量が異なることから、「エネルギーミニмум集中冷却技術(A4)」の熱処理能力(流量)を各要素毎に最適化した。

③【システム構成】

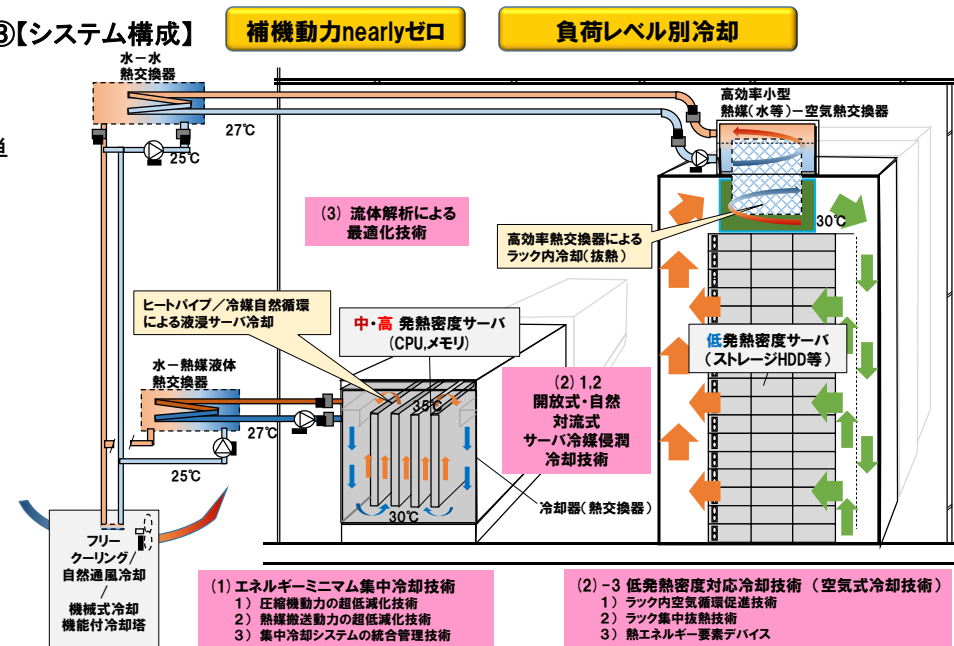


図1. システム全体構成(発熱密度に応じたハイブリッド動力レスデータセンタ)

④【技術開発の目標・リスク】

○想定ユーザ・利用価値

- ・中小規模(100～1,000台)のビル型データセンタ(各要素技術は大規模センタへ適用可能)
- ・発熱密度(用途)が異なる、あるいはそれらが混在するデータセンタ(最近のデータセンタのトレンド)

○目標となる仕様及び性能

- ・「PUE=1.02」(注2)(再生可能エネルギー等を利用しないデータセンタの世界記録)
- ・発熱量に応じたゾーニング(負荷レベル別冷却)と、最適な冷却方式
- ・床過重1 ton/m2以下(注3)の冷媒浸潤・滴下・空調方式

○開発工程のリスク・対応策

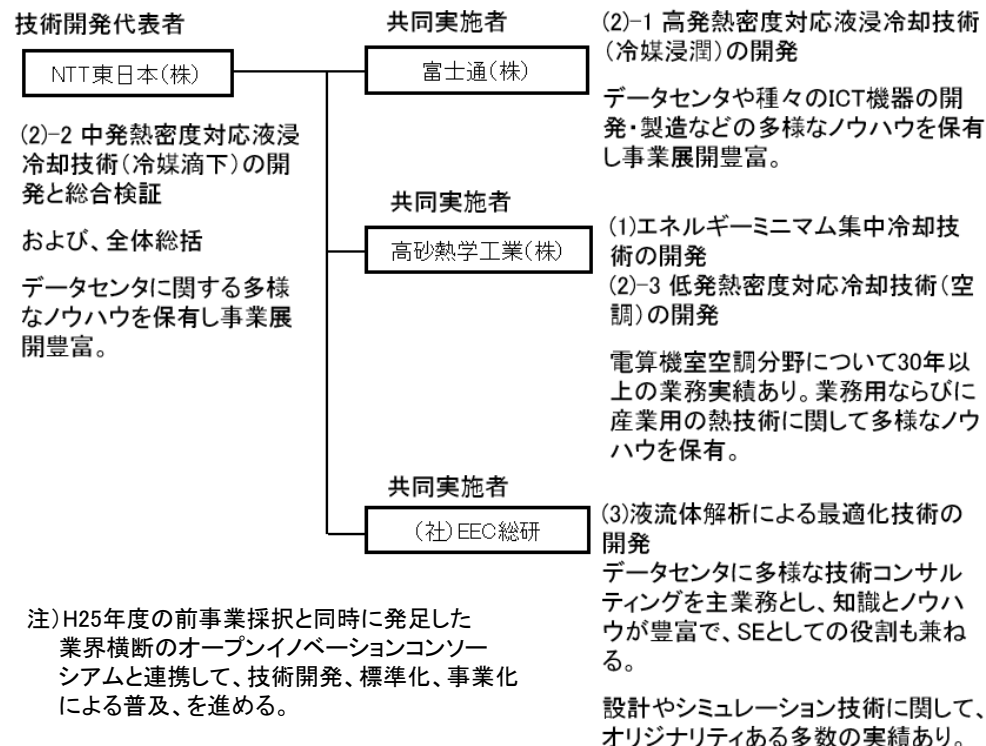
- ・年間を通じたPUE値の評価と地域性(東京・大阪・北海道、...)の反映実験とシミュレーションを組み合わせた評価によって実証・一般化する

(注2) PUE(Power Usage Effectiveness)=データセンタ全体の電力/ICT機器の電力

(注3) 一般的なビルの耐床荷重値

(2)実施計画等

①【実施体制】



②【実施スケジュール】 単位は千円

	H28年度	H29年度	H30年度
(1)エネルギーミニマム集中冷却技術の開発	30,130	38,760	38,700
(2)対流式冷却技術と構成デバイスの高熱伝達化技術の開発	176,222	181,940	178,300
(3)液流体解析による最適化技術の開発	9,910	10,000	10,000
一般管理費(間接経費)	32,439	34,605	34,050
合計	248,701	265,305	261,050

③【事業化・普及の見込み】

○事業化計画

- ・2019年から既設のオープンイノベーションコンソーシアムを中心として事業化推進のためのパートナーを増やす。
- ・2021年までに、富士通等の有力ベンダーを中心として事業基盤を構築する。
- ・2023年を目処として、関連企業における事業を積極的に展開する。

○事業展開における普及の見込み(～2030年)

- ・実用化段階コスト目標: 2.0億円/システム(100台規模の標準システム)
- ・実用化段階償却年: 5年(従来型システムとのコスト差額+2,000万円)

年度	2020	2022	2025	2030
目標販売台数(台)	100	240	500	600
目標累積販売台数(台)	100	450	1630	4350
目標販売価格(円/台)	2.2億	2.2億	2.1億	2.0億

○普及に向けた障害、課題

- ・浸潤用の冷媒のコストが高く、抜本的な低コスト化と新たなマーケットの掘り起こしが必要。
 - ・フッ素系冷媒に対する仕様や規格策定(認証)が必要。
- ⇒冷媒の低価格化・標準化・性能認証のためのグローバルコンソーシアム(冷媒提供者とユーザとの連携)の設立を準備し、技術普及を加速する必要がある。
- ・HPC(High Performance Computing)やAIコンピューティングシステム以外の汎用データセンタ、あるいは通信ビル等への適用領域拡大による低コスト化の加速。

④【エネルギー起源CO2削減効果】

開発品(装置/システム)1台当たりのCO2削減量(t-CO2/台・年)				1300
年度	2020	2022	2025	2030
CO2削減量(万t-CO2/年)	13	31	65	78
累積CO2削減量(万t-CO2)	13	43	186	576
CO2削減コスト(円/t-CO2)(2020年度は不要) =環境省から受ける補助総額(円)÷当該年度までの累積CO2削減量(t-CO2)		1807	417	135

(3)技術開発成果

①【達成した成果】

- (1) 冷却能力:ラック毎に最適化された自然対流方式冷却技術
 - ・高発熱密度(16~20kW/ラック、冷媒浸潤)
 - ・中発熱密度(9~15kW/ラック、冷媒滴下)
 - ・低発熱密度(~8kW/ラック、自然対流)
- (2) 床加重:1t/平方m以下
- (3) 冷却動力:≒0kW
- (4) PUE(ICT機器電力効率):1.02
- (5) 停電や冷却装置の故障時にも自立可能:3時間以上

②【CO2削減効果】

○2020年時点の削減効果（試算方法パターン B-a, I）

- ・既設の従来システムのストック(※1): 1万台
- ・国内潜在市場規模(※2): 1,000台
- ・2020年度に期待される最大普及量: 100台
- ・開発システム1台当たりのCO2削減量(※3): 1,300t-CO2/年
- ・年間CO2削減量: 13万t-CO2

○2022年時点の削減効果（試算方法パターン B-a, I）

- ・既設の従来システムのストック(※1): 1.1万台
- ・国内潜在市場規模(※2): 1,200台
- ・2022年度に期待される最大普及量: 240台
- ・開発システム1台当たりのCO2削減量(※3): 1,300t-CO2/年
- ・年間CO2削減量: 31万t-CO2

○2030年時点の削減効果（試算方法パターン B-a, I）

- ・既設の従来システムのストック(※1): 1.5万台
- ・国内潜在市場規模(※2): 2,000台
- ・2030年度に期待される最大普及量: 600台
- ・開発システム1台当たりのCO2削減量(※3): 1,300t-CO2/年
- ・年間CO2削減量: 78万t-CO2

- (※1) 富士キメラ調査、EPRI統計に基づいて推計
 (※2) 生産能力増強計画に基づく最大生産台数
 (※3) 従来型の同様システム:4000t/年のうち、標準的なPUE=1.5のシステム更改を想定し、33%を削減可能と考えて算出

③【成果発表状況】

○学会活動

- ・国際会議(査読付き): 7件、
- ・ジャーナル: 1件、
- ・講演会: 8件

○報道発表

- ・報道発表: 10件

(日経産業、フジサンケイ、インプレス社ニュースレター、同Web記事、データセンタ完全ガイドへの掲載、およびその特集号(2017年12月)、など)

④【技術開発終了後の事業展開】

○事業化の検討

・業界横断のオープンイノベーションコンソーシアムと連携しながら、以下のような検討をすすめている。

施策	事業分類	ターゲットユーザー抽出(H29)	事業化要件把握(H30)	導入意向ユーザーへの受注活動(H31~)
個別事業化技術	エネルギーミニマム集中冷却技術	・モジュール型データセンタ	・ターゲットユーザー、間接外気冷却データセンタのモジュール構成要件の把握 ・運用・保守条件把握 ・負荷別ゾーニング冷却システムの設計 ・受注活動開始	・導入意向ユーザーへの提案・構築
	高発熱密度対応冷却技術(冷媒浸潤)	・AI基盤サービス提供クラウド ・大学、研究機関 ・高集積プライベートクラウド ・通信局舎(高発熱通信機器)など 【参考】強制対流技術 ・富士通:商用化済み、販売開始	・ターゲットユーザーのカスタマイズ要件把握 ・運用・保守条件把握 ・自社導入検討開始 ・受注活動開始(クラウド事業者、大手通信事業者等) ・H30事業(5G基地局)へ基本技術を活用	・同上
	中発熱密度対応冷却技術(冷媒滴下)	・高冷却効率、低床荷重オフィス転用データセンタなど ・中小クラウド(オンプレミス) ・AI基盤サービス提供クラウド ・大学、研究機関	・ターゲットユーザーのカスタマイズ要件把握 ・運用・保守条件把握 ・自社導入検討開始	・同上
	低発熱密度対応冷却技術(空調)	・ビッグデータ解析やバックアップ用ストレージ ・ISP事業者(共用ストレージサービス) ・金融・工場系(自動車)・放送局 ・大学、研究機関、大手銀行など	・ターゲットユーザーのカスタマイズ要件把握 ・運用・保守条件把握 ・ラックメーカーとの協業開始	・同上
	液流体解析による最適化技術	・データセンタ事業者 ・SI事業者	・データセンタ設計要件の把握 ・H30事業(5G基地局)へ基本技術を活用	・導入意向ユーザーへの提案、設計コンサル

○シナリオ実現上の課題

- ・浸潤用冷媒の抜本的なコストダウン、新たなマーケットの発掘が必要。
- ・フッ素系冷媒に対する仕様や規格策定(認証)が必要。

⇒冷媒の低価格化、標準化、性能認証のためのグローバルコンソーシアム(冷媒提供者とユーザーとの連携)を準備し、技術普及の加速が必要。

・HPC(High Performance Computing)やAIコンピューティングシステム以外の汎用データセンタ、あるいは通信ビル等への適用領域拡大による低コスト化の加速が必要。

○参考資料(1/8)

○開発技術の展開について

- ・多方面のプレーヤからなるオープンイノベーションコンソーシアム(図1)を中心とした事業展開予定。
- ・各要素技術は、発熱密度毎に個別に商用展開が可能である。発熱密度毎(図2参照)の冷媒や空気の流れによる熱交換方式を採用しているため、今回開発したシステム以外にも、遠隔の熱交換(暖房、除湿)のための、高効率な廃熱利活用を用いる熱搬送にも利活用が可能であり、更なるCO2削減効果が期待される。
(H25年度に採択された廃熱利活用システムでは、空調の廃熱による熱交換を基にしているため、遠隔への熱搬送が難しく隣接オフィスへの廃熱利活用が限界であった。今回、液冷媒にすることにより、より遠隔への熱搬送が可能となった。)
- ・ラックによって発熱密度が大きく異なる通信ビルや騒音を嫌うケース(展示や一般ビル収容)、コンテナや屋外設置などへも適用可能である。
- ・全体システムは、間接外気による熱交換を基本とした冷却システムであるため、他の熱交換システムとの協調運転によるCO2削減効果のさらなる拡大が見込まれる。
- ・以上より、本システムの開発により、対策が遅れている中小規模のビル型データセンターのみならず、大型のデータセンターにも適用可能であり、ビル全体の大幅なCO2削減効果を期待することができ、低炭素型社会への更新が進むことが期待される。

○情報発信の実績

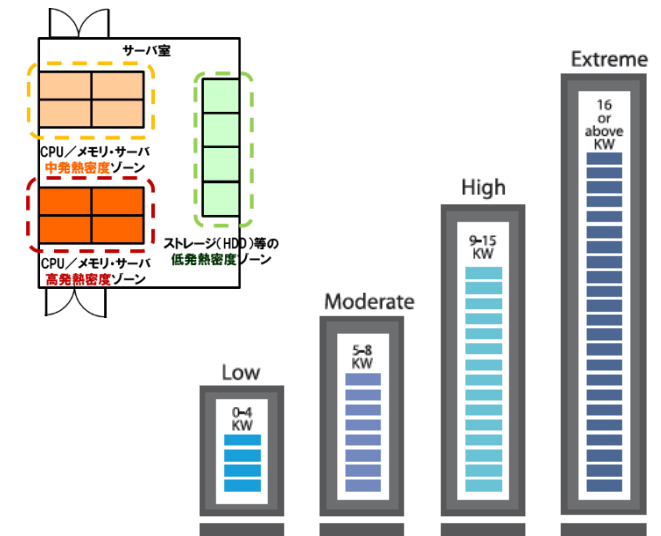
- ・本技術を、種々の論文、国際会議等に積極的に発表した。加えて、H25年採択事業時点から取り組んでいるEUとの共同事業にも反映。
- ・国内外の種々のデータセンター関連の展示会において、関連技術の展示を行ってきた。
- ・米国ASHRAEへの提案を積極的行った。今後も、標準化団体(ASHRAE, TGG, Open Computing Projectなど)への提案を継続して実施し、技術普及と標準化に努める。

○安全性

- ・標準的なデータセンター技術に関する安全対策を適用して、事業を推進する。
- ・蒸発冷媒特有の安全性対策を十分検討しつつシステムを開発する。



図1. オープンイノベーションコンソーシアム



5-54983_DCKNTTwhitepaperfinaldeletethisversionoffileoncehosted

図2. データセンター内のラック当たり熱密度による分類(下)と、熱密度に応じたデータセンター内でのゾーニング(上)の例

○参考資料(2/8)

○論文・特許・その他実績

- ・国際会議(査読付き): 7件、
- ・ジャーナル: 1件、
- ・講演会: 8件

- ・報道発表: 10件

(日経産業、フジサンケイ、インプレス社ニュースレター、同Web記事、データセンタ完全ガイドへの掲載、およびその特集号(2017年12月)、など)

・標準化、オープン化:

オープンイノベーションコンソーシアム、冷媒の仕様化、認証化にむけてグローバルコンソーシアム設立準備開始(設立準備WGキックオフ: 下写真)、データセンタ機器制御用セキュア通信プロトコルの策定開始、データセンタオペレーションシステムのオープン化開始



(参考) 液冷グローバルコンソーシアム発足WGキックオフ(3M Minneapolis本社)
(Chair: 米国3M、Member: 富士通、CISCO、などが初期メンバー)

(参考) 学会活動の実績

発表日(予定)	発表場所	発表形式	発表者	タイトル
2017/5/17	日本データセンター協会講演会(JDCC)	講演	EEC総研	抜本的省エネデータセンターの取り組み
2017/7/1	NTT技術ジャーナル7月号	解説	NTT東	データセンタにおける電力消費効率の向上に向けた取り組み
2017/7/19	グリーン東大DCIM-WG	講演	高砂熱学工業	空調オープン化・効率化 最新動向
2017/9/13	空気調和・衛生工学会大会	講演	高砂熱学工業	PUE=1.0x(補機動力nearlyゼロ)のデータセンター用冷却システムの開発 ～汎用機器を用いた冷却システムの運転状況～
2017/9/25-27	6th IEEE International Conference on Cloud Networking	国際会議	EEC総研	Liquid immersion cooling technology with natural convection in data center
2017/11/15	建設設備技術会連	講演	高砂熱学工業	次世代高効率データセンターへの取り組み
2018/1/23	2017 ASHRAE Winter Conference	国際会議	EEC総研	Effective Cooling of Server Boards in Data Centers by Liquid Immersion Based on Natural Convection Demonstrating PUE below 1.04
2018/1/23	2017 ASHRAE Winter Conference	国際会議	EEC総研	Proposal of Cooling Method for HPC by Drip-Feeding Cooling
2018/1/23	2017 ASHRAE Winter Conference	国際会議	高砂熱学工業	Cooling System with Nearly Zero Cooling Power for Server Rooms
2018/2/20	次世代クラウドシンポジウム(大阪大学)	講演	大阪大学	Cold Storage Geo Replication (Hot/Cold Classification)
2018/6/23	2018 ASHRAE Annual Conference	国際会議	EEC総研	Design-guidelines for liquid tub in immersion system using natural convection below PUE=1.04
2018/9/12	空気調和・衛生工学会大会	講演	高砂熱学工業	PUE=1.0x(補機動力nearlyゼロ)のデータセンター用冷却システムの開発 ～実験とエネルギーシミュレーションによる低PUE化の可能性検討～
2018/11/27	FlowDesignerForum	講演	EEC総研	次世代データセンター、PUE=1.02の世界
2018/12/4	インプレス・データセンターシンポジウム	講演	EEC総研	超省エネデータセンター
2019/1/12-16	2019 ASHRAE Winter Conference	国際会議	高砂熱学工業	Cooling System with Low Power Usage Effectiveness below 1.02x for Server Rooms
2019/3/14	OCP Conference (投稿)	国際会議	EEC総研	Proposal of liquid immersion cooling with bubble-assisted natural convection for HPC-based cloud computing system

他3件

(参考) 報道発表の実績

掲載日	掲載紙	タイトル
2016/11/24	富士通ジャーナル(Web)	大量のエネルギーを消費するデータセンターが目指す「空極の省エネ」とは?
2016/12/12	建設通信新聞	技術裏表
2016/12/26	Smart Grid News Letter 2017年1月号	IoT社会を支える次世代データセンターの実証事業がスタート ― 世界初の新技術開発で省電力・省スペース・軽量化を実現し、夢の「PUE=1.0」を目指す! ―
2016/12/26	日経産業新聞	サーバ、液体に浸し冷却
2017/1/13	メールマガジン Smart Grid通信 第38号	IoT社会を支える次世代データセンターの実証事業がスタート
2017/3/1	データセンタ完全ガイド3月号	世界初の新技術開発で省電力・省スペース・軽量化による夢の「PUE=1.0」
2017/3/20	フジサンケイビジネスアイ	NTT東日本などデータセンターの消費電力削減
2017/4/29	中央電子社内報(2016)	環境省事業紹介
2017/10/12	NHK放映	富士通の環境ビジョン(2050年にゼロエミッション達成)
2018/12/25	Impress Smart Grid News Letter特別編集号(Webダウンロード掲載記事)	PUE(電力使用効率)=1.0時代への挑戦! ― IoT社会を支える次世代データセンターのエネルギー最適化 ―

見学他26件

○参考資料(3／8)

○CO2削減効果の算出根拠(2項に結果を記述)

○2020年時点の削減効果 (試算方法パターン:供給可能数に基づき累積普及するモデル)

- ・国内潜在市場規模: 1,000台
(既設の従来システムのストック10,000台／富士キメラ調査、EPRI統計により推定)
- ・2020年度に期待される最大導入ユニット: 100
- ・開発機器(システム)1台当たりのCO2削減量: 1,300t/年
(従来型の同様システム:標準的なPUE=1.5のシステムを更改した場合)
- ・年間CO2削減量: 13万t-CO2

○2022年時点の削減効果 (試算方法パターン:供給可能数に基づき累積普及するモデル)

- ・国内潜在市場規模: 1,200台
(既設の従来システムのストック11,000台／同上統計に基づき推計)
- ・2022年度に期待される最大導入システム: 240
- ・開発機器(システム)1台当たりのCO2削減量: 1,300t/年
(従来型の同様システム:標準的なPUE=1.5のシステムを更改した場合)
- ・年間CO2削減量(新規追加分): 31万t-CO2

○2025年時点の削減効果 (試算方法パターン:供給可能数に基づき累積普及するモデル)

- ・国内潜在市場規模: 1,500台
(既設の従来システムのストック13,000台／同上統計に基づき推計)
- ・2025年度に期待される最大導入システム: 500
- ・開発機器(システム)1台当たりのCO2削減量: 1,300t/年
(従来型の同様システム:標準的なPUE=1.5のシステムを更改した場合)
- ・年間CO2削減量(新規追加分): 65万t-CO2

○2030年時点の削減効果 (試算方法パターン:供給可能数に基づき累積普及するモデル)

- ・国内潜在市場規模: 2,000台
(既設の従来システムのストック15,000台／同上統計に基づき推計)
- ・2030年度に期待される最大導入システム: 600
- ・開発機器(システム)1台当たりのCO2削減量: 1,300t/年
(従来型の同様システム:標準的なPUE=1.5のシステムを更改した場合)
- ・年間CO2削減量(新規追加分): 78万t-CO2

販売年度	2020	2021	2022	2025	2030	
(潜在市場規模)	1000	1100	1200	1500	2000	
(3):目標販売台数(台)	100	110	120	500	600	
(4):CO2削減量(万t)	13	14	31	65	78	
(3):目標累積販売台数(台)	100	210	330	1430	4430	
(4):累積CO2削減量(万t)	13	27	43	186	576	
						(累計)
2020	100					100
2021	100	110				210
2022	100	110	120			330
2023	100	110	120			630
2024	100	110	120			930
2025	100	110	120	500		1430
2026	100	110	120	500		2030
2027	100	110	120	500		2630
2028	100	110	120	500		3230
2029	100	110	120	500		3830
2030	100	110	120	500	600	4430
(4):CO2削減コスト 委託費総額／累積CO2削減量 (円／t-CO2)	5962	2839	1807	417	135	
					3年累計	
				委託費の総額 (円:税込み)	775042279	

○参考資料(4/8)

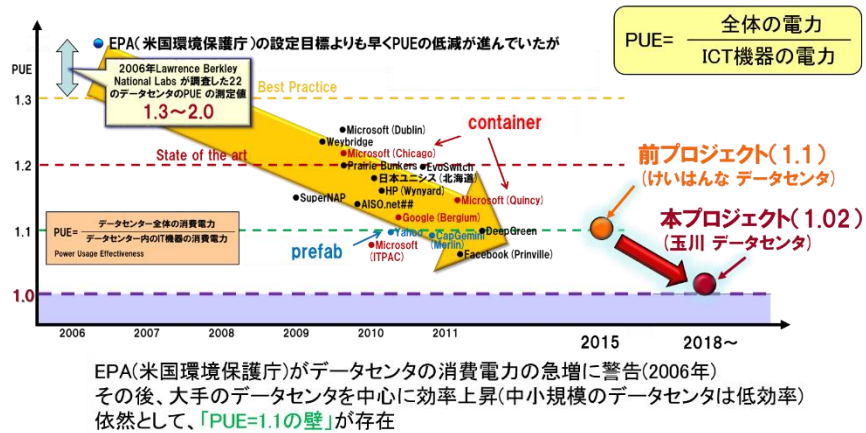
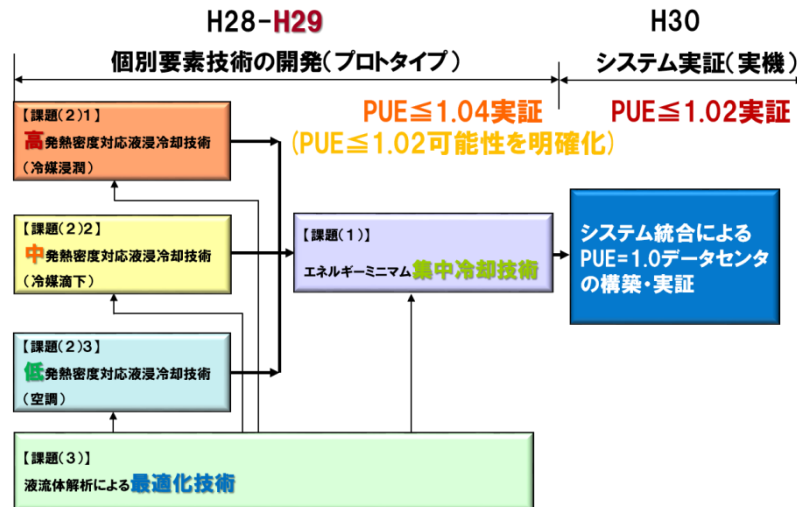


図3. 各データにおけるPUEの世界的推移と本事業成果の位置づけ

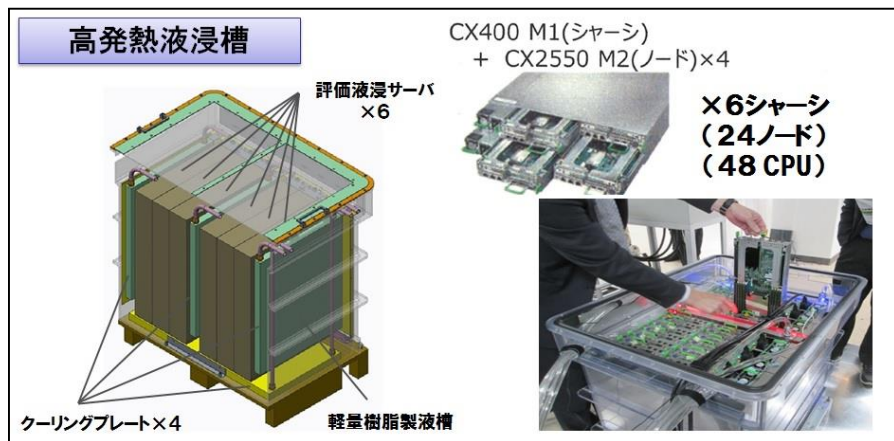


(参考) 各方式における代表的なPUEの比較

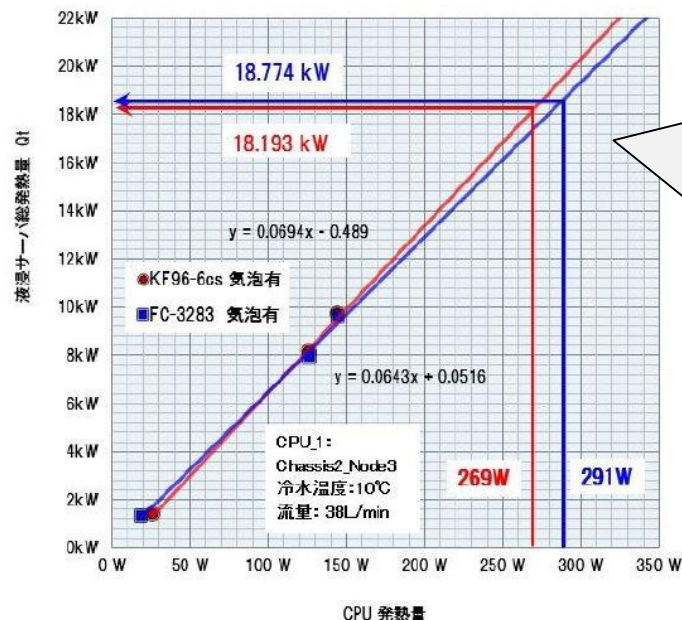


(参考) 事業の具体的目標設定と進め方

○参考資料(5/8) A1:高発熱密度対応液浸冷却技術(冷媒浸潤)



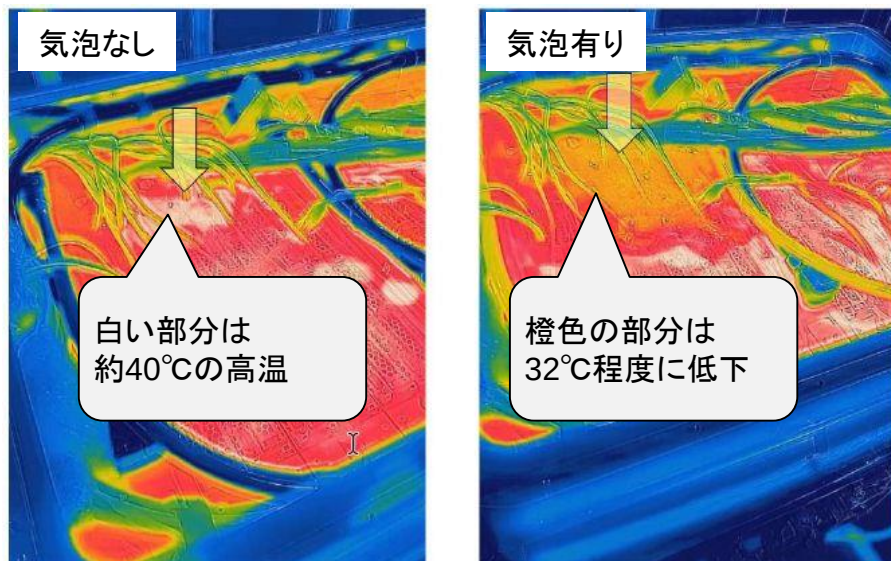
図(4-1) 高発熱対応冷却システム



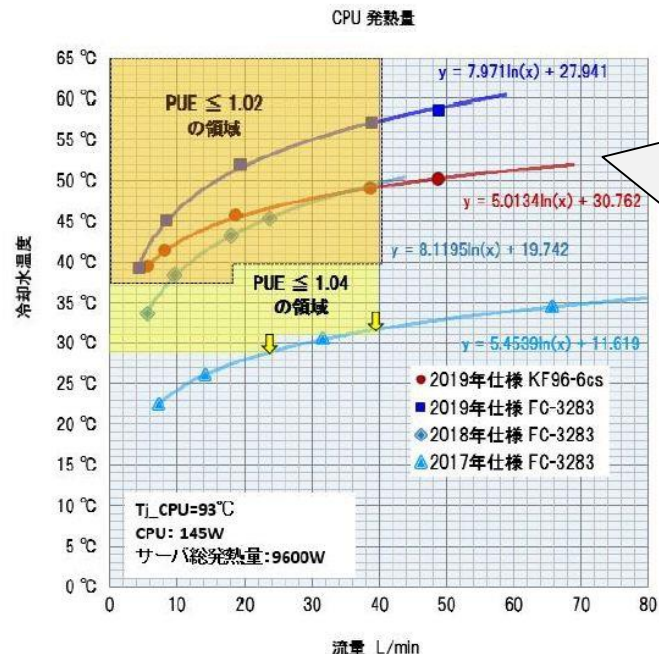
冷媒＝フロリナートの場合、CPUの冷却限界(291W)時に18.8kW(青い線)

冷媒＝シリコンオイルの場合、CPUの冷却限界(269W)時に18.2kW(赤い線)

図(4-3) CPUの冷却限界



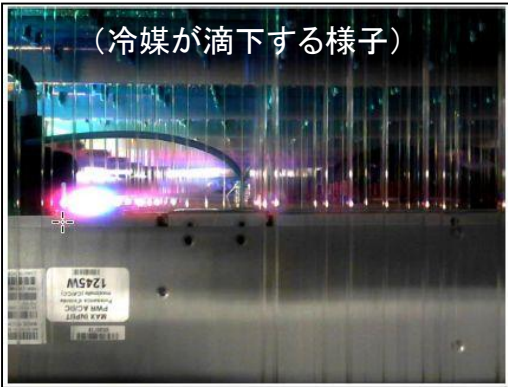
図(4-2) 気泡対流の有無による、冷媒温度の変化



最終年度には、「冷却水の温度 $\geq 37.7^{\circ}\text{C}$ 、冷却水の流量 $\geq 10\text{L}/\text{分}$ 」という条件下で、PUE ≤ 1.02 の達成を確認

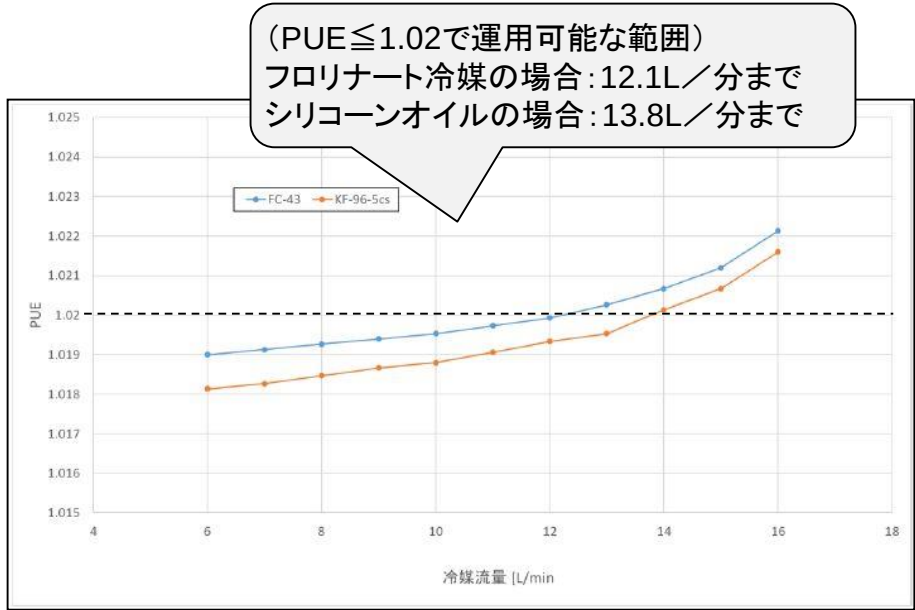
図(4-4) PUE ≤ 1.02 達成に必要な冷却水の流量と温度

○参考資料(6／8) A2:中発熱密度対応液浸冷却技術(冷媒滴下)



冷媒の種類	システム重量	設置面積	床加重
フロリナート	1240kg	2.52㎡	492kg/㎡
シリコンオイル	1220kg		484kg/㎡

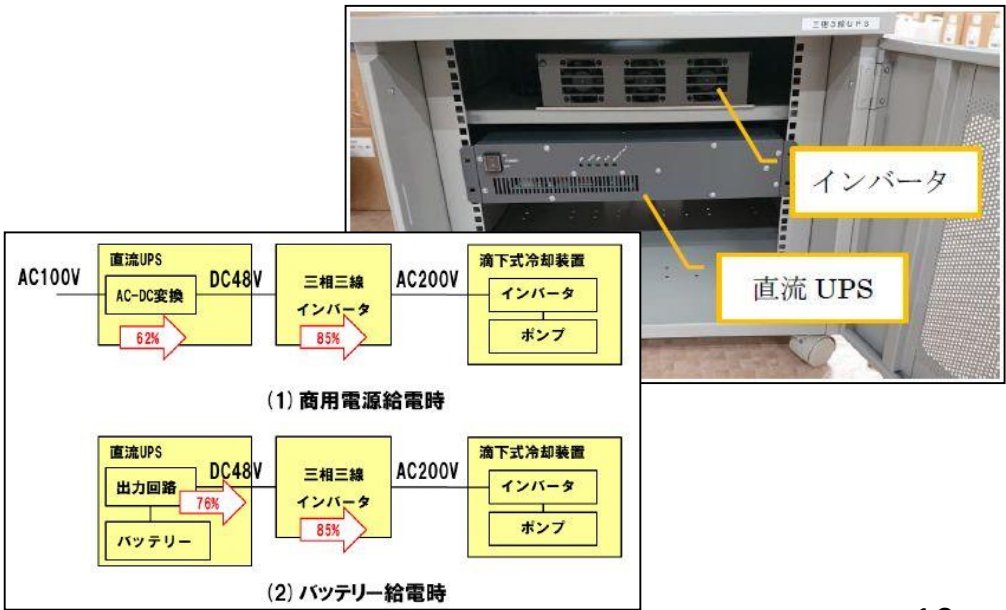
図(5-1) 中発熱対応冷却システム(32U収納タイプ)



図(5-2) 冷媒流量とPUE値の関係

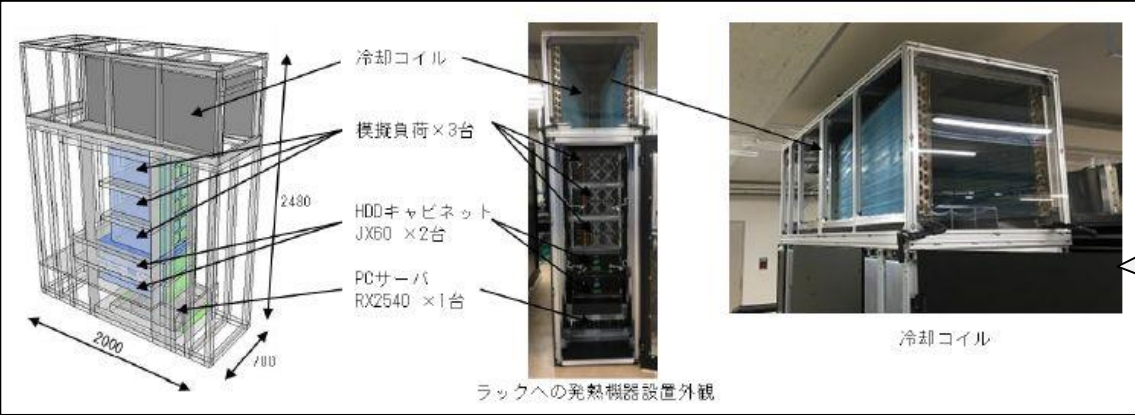


図(5-3) データセンタ用スイッチの冷媒滴下冷却実験



図(5-4) 電源消失対策(直流UPSとインバータの組合せ)

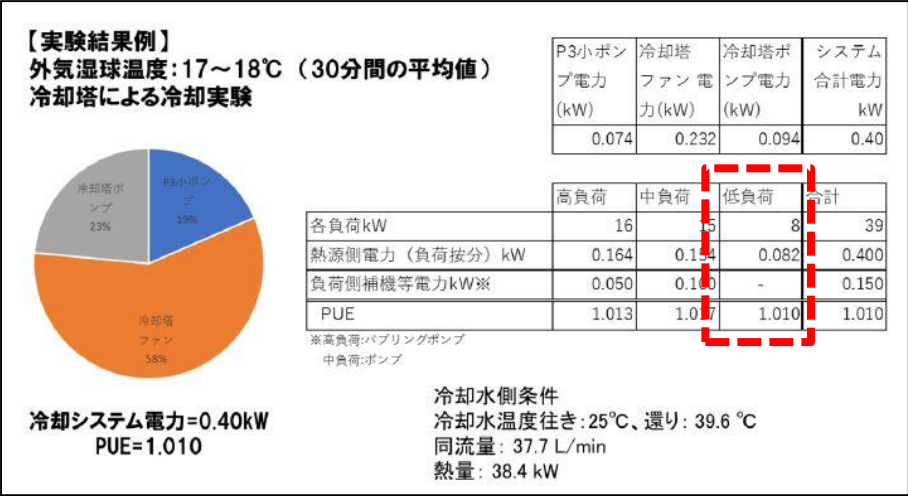
○参考資料(7/8) A3:低発熱密度対応液浸冷却技術(空調)



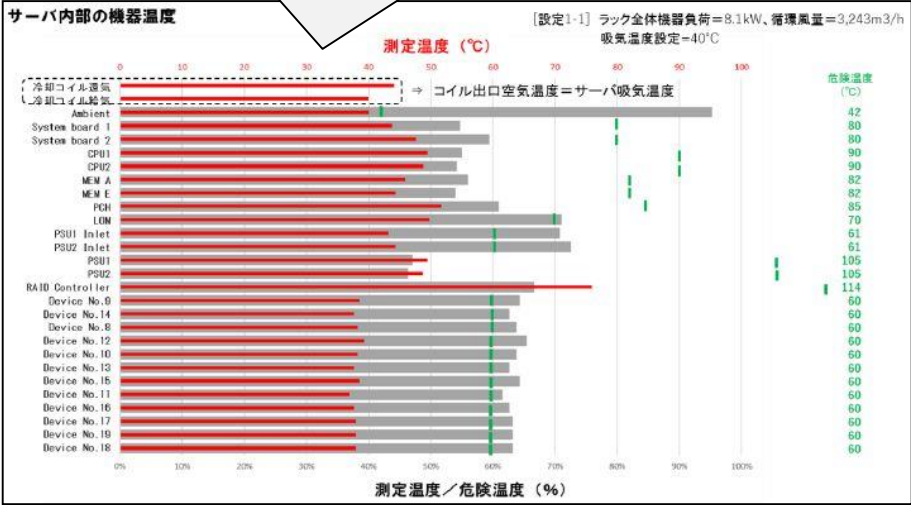
- ・低発熱対応冷却システムのラック上部には空気の圧力分布ムラが少ない、クサビ型の熱交換器を搭載
- ・吸気温度の均一化が可能なPCサーバ周りの吸気側通路を構成し、排気圧力を利用した空気循環が可能な密閉式ラックを採用

図(6-1) 低発熱対応冷却システムの全体構成

- ・IT機器の吸気温度=40℃と高いケースでもサーバ内部は危険温度に対して約70%以下⇒内部の機器は安定稼動が可能

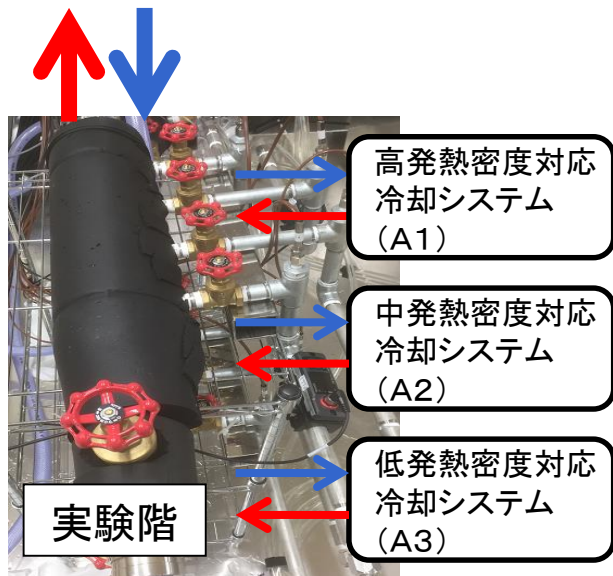
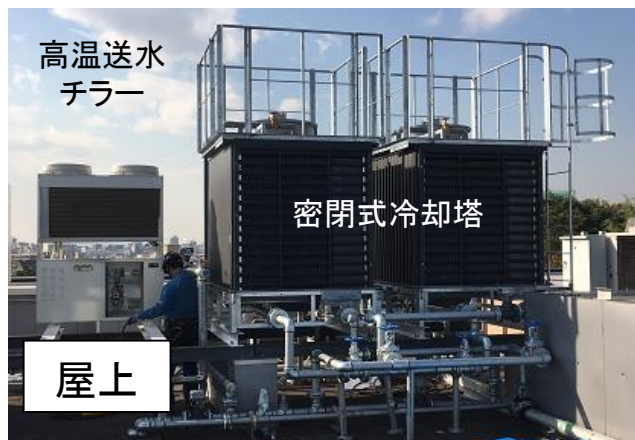


図(6-2) 低発熱対応冷却システムのPUE(赤い点線の枠内)

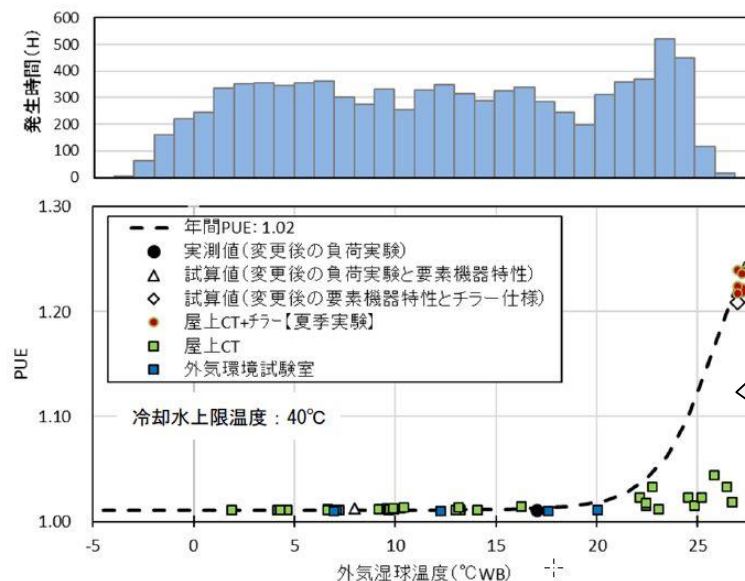


図(6-3) 吸気温度=40℃の条件での、IT機器の動作温度

○参考資料(8/8) A4:エネルギーミニマム集中冷却技術



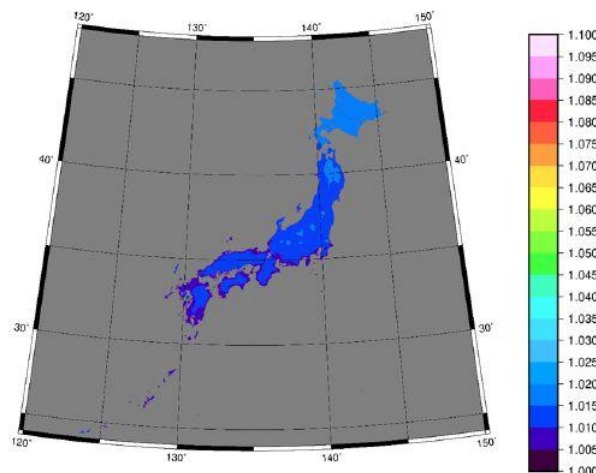
図(7-1) 集中冷却システムの全体イメージ



図(7-2) 「年間通算でのPUE ≤ 1.02実証」がわかるグラフ

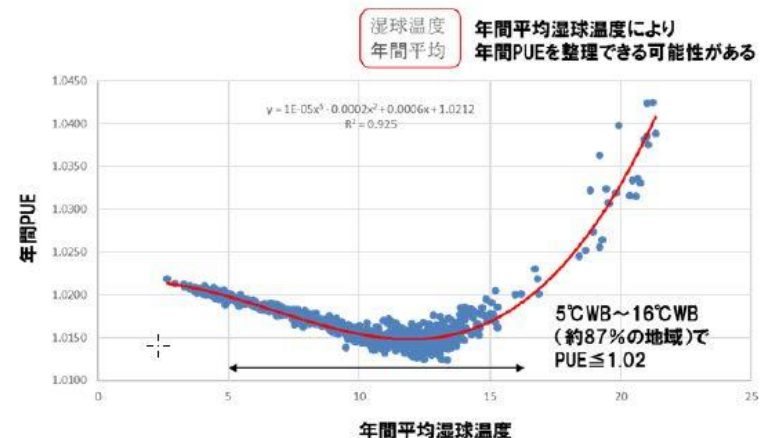
- ・外気湿球温度 ≤ 20°C以下では、PUEが1.01台と低い値を示し、実測値もPUE1.02を示す破線上もしくはそれより小さいPUEを示す
- ・外気湿球温度 > 20°C以上では、赤丸プロットのPUEが1.2程度まで上昇するが、破線より小さく、実測値もシミュレーション結果より小さいPUEを示す

年間通算でのPUE ≤ 1.02を実証



Case-3
冷却塔使用 (チラーなし)
設定温度40°C

図(7-3) 日本全国の気象データとPUE値の関係



図(7-4) 年間湿球湿度と年間通算PUE(概略値)の相関

CO₂排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

▪ 評価点 7.0点（10点満点中）

▪ 評価コメント

〔評価された点〕

- － 消費電力が急増しているデータセンタの抜本的なエネルギー削減を図るため、動力レス冷却方式を開発し、データセンターでフリークーリングと個別の冷却システムを組み合わせることによって、PUE=1.02以下を実証するなど所期の技術的目標を達成している点について評価できる。
- － また、一部のシステムについてはすでに製品化を実施して表彰も受けている点は評価できる。

〔今後の課題〕

- － 普及の観点から、蒸発冷媒の安全性確保に関する検討が必要である。また、気密性の徹底、非常時の漏洩対策や適切な運用環境の確保、使用者への周知等、必要な対応について留意されたい。
- － 販売目標（2020年度販売目標100台）に関して、実現可能な目標値か精査した上で事業化計画を具体化し早期の事業化を期待する。

〔その他特記事項〕

- － データセンターの省エネルギーニーズは今後さらに高まることが予想される。液冷却という新しい考え方が普及するためより一層の広報・普及活動を実施されたい。