

**データ処理基盤の変化に対応した  
省エネルギー技術  
(2020～2021年度調査成果報告)**





発表者：樹 世中（いつき せいちゅう）

## 経歴

2010年7月	大手電機製造会社 およびコンサルティング会社を経て 株式会社 野村総合研究所入社
現在	コンサルティング事業本部 サステナブル事業コンサルティング部 エキスパート

## 専門

### ■ 業界・専門分野

- ・ 実行支援・PMO
- ・ サークュラーエコノミー、資源循環
- ・ グリーンデジタル
- ・ サプライチェーンマネジメント（物流・調達）
- ・ システム要件定義

### ■ 講師・執筆

- 上智大学 非常勤講師：企業環境経営論
- 「宇宙ごみ問題解決に向けた取り組み」  
野村総合研究所、NRIパブリックマネジメントレビュー（2020年10月号）
- 「サーキュラーエコノミー変革のための社会基盤DX」  
野村総合研究所、知的資産創造（2020年12月号）共著
- 「サーキュラーエコノミー変革における静脈産業の展望」  
野村総合研究所、知的資産創造（2020年12月号）

## 主要プロジェクト



### 【グリーンデジタル】

- ・ データ処理基盤の変化に対応した省エネルギー技術開発項目策定のための調査および分析（NEDO）
- ・ ポストコロナ社会における地域循環共生圏に対するデジタル技術の活用方策の検討（環境省）
- ・ 脱炭素社会を構築する情報通信ネットワークシステム評価検証事業（環境省）

### 【サーキュラーエコノミー関連】

- ・ リサイクル素材の環境価値評価・カーボンフットプリント等算出（民間企業）
- ・ 資源循環に関する情報プラットフォームの構築に向けた調査（環境省）
- ・ LiBスタビライザーの技術検証及び事業化検討事業（環境省）
- ・ サークュラーエコノミーの国際標準化に関わる調査研究業務（日本規格協会）
- ・ 低炭素製品普及に向けた3R技術・システム動向調査委託業務（環境省）
- ・ IT等を活用した低炭素型資源循環システム評価検証委託業務（環境省）
- ・ プラスチックリサイクル技術に関わる実証研究支援業務（民間企業） など

### 【PMO関連】

- ・ 自動車リサイクルシステム大改造の企画・調査に係る支援業務（公益財団法人）
- ・ 若手によるイノベーション創出支援（民間企業）
- ・ 低炭素製品普及に向けた3R体制構築支援事業委託業務（環境省）
- ・ 放射性物質汚染対策等事業及び災害廃棄物等処理事業の進捗管理並びに放射性物質汚染対策等事業の情報管理業務（環境省）
- ・ 製薬会社における全社構造改革（民間企業） など

### 【サプライチェーンマネジメント】

- ・ 物流サービス機能策定（民間企業）
- ・ 電力会社の調達業務効率化（民間企業）

### 【システム要件定義】

- ・ 業務改革要件定義とCRMパッケージの連携（民間企業）
- ・ 上記以外に、ERP、地図システム等の要件定義を実行支援プロジェクト内で推進

1. 重要性が増す「グリーンデジタル」への取り組み

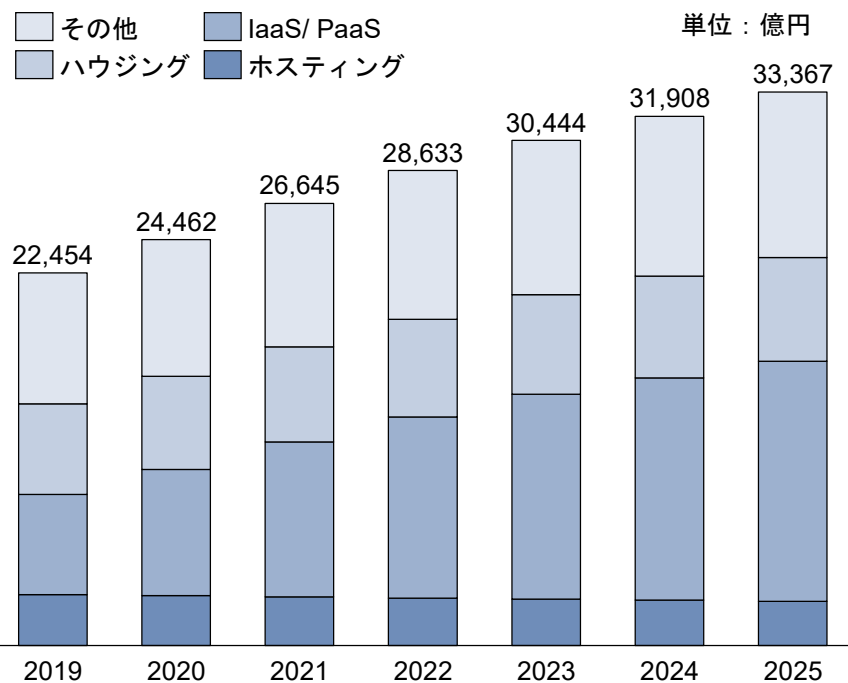
2. 変化しつつあるデータ処理基盤

3. データ処理基盤の変化に対応した省エネルギー技術検討

- 社会の成長と共にデジタル領域（特にデータセンター）の市場・規模が拡大していく

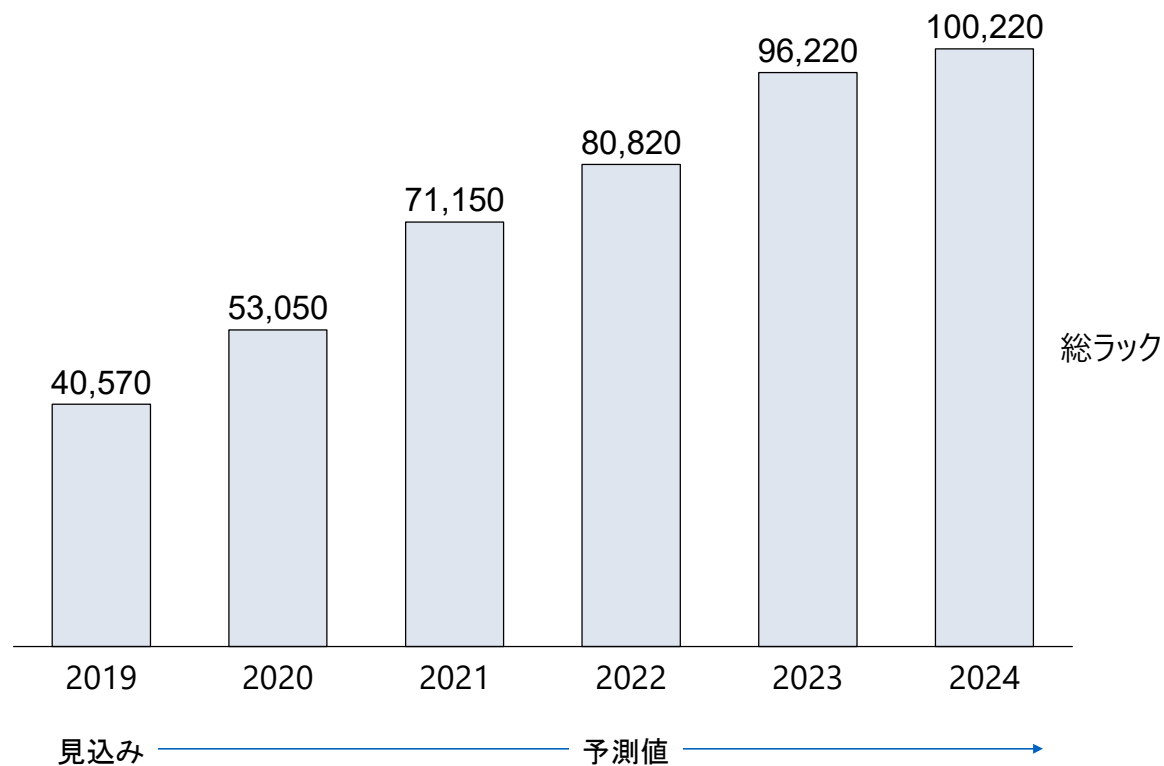
### 国内データセンター市場規模(2020-2025)

✓ 2025年にかけて平均6.4%で市場規模は成長



出所：富士キメラ総研「」、日経済新聞より

### 国内のハイパースケールDC(注1)の総ラック数推移



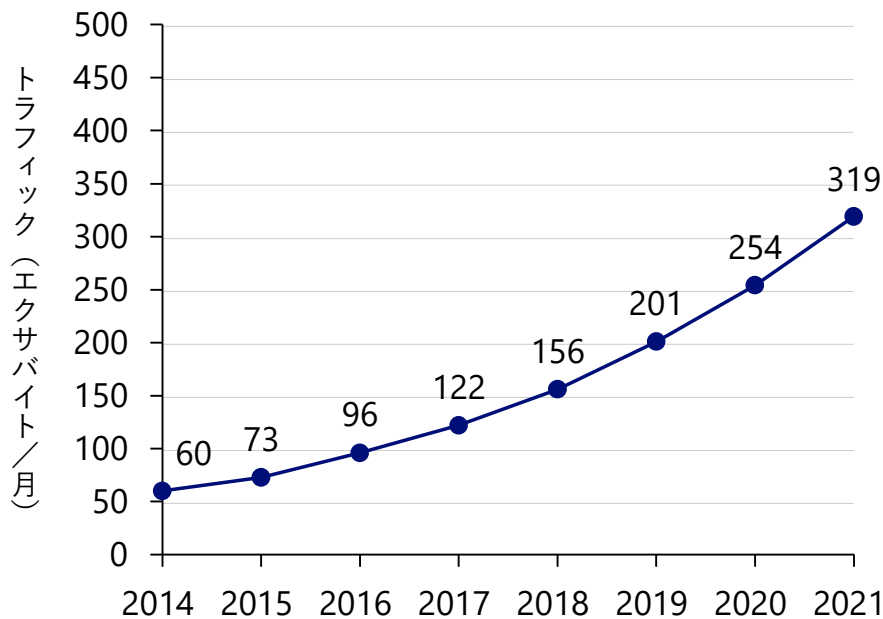
総ラック



## 1-2.通信トラフィックの増大

- クラウドに接続するデバイス数とデータ量の加速度的な増大により、クラウドによる集中処理・蓄積には遅延やトラフィックの混雑、データの悪用リスクといった課題が出てきている
- 5Gの登場に伴う通信の高速化・低遅延化はトラフィック増加を加速させる

グローバルでのトラフィック推移 (注1)

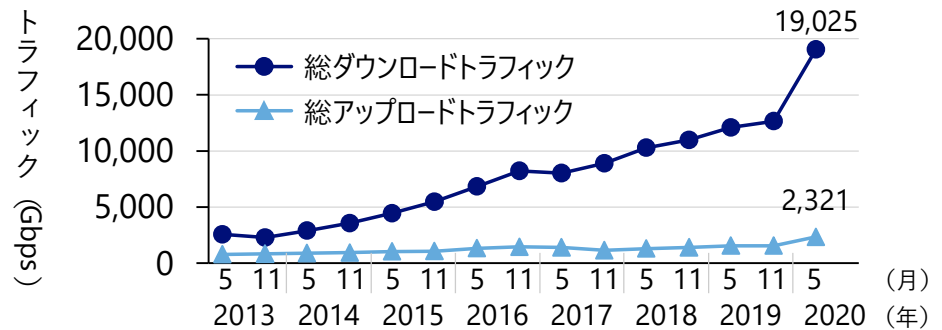


(注1) 固定通信・移動通信・マネージドIP (企業のIP-WANトラフィック、テレビ及びVoDのIPトランスポート) の合計値を表す

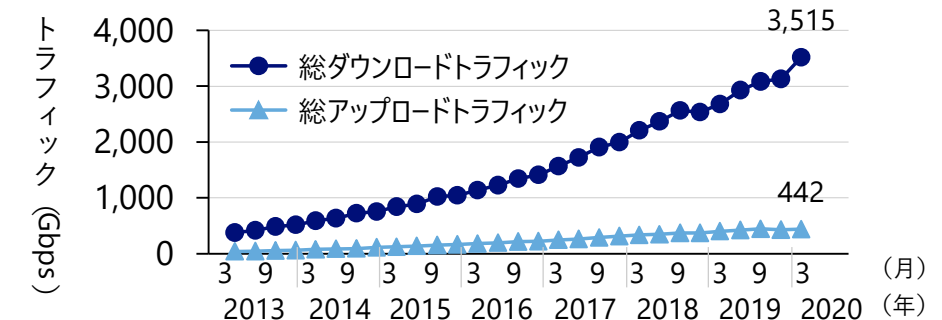
(注2) 国内のプロードバンドサービス (FTTH、DSL、CATV、FWA) が対象

(注3) 2017年5月より調査協力ISP数が増加したため不連続

国内の固定通信トラフィック推移 (注2) (注3)



国内の移動通信トラフィック推移



出所) Cisco "Visual Networking Index"、総務省「我が国のインターネットにおけるトラフィックの集計・試算」・「我が国の移動通信トラフィックの現状」



## 1-3.通信トラフィックの増大

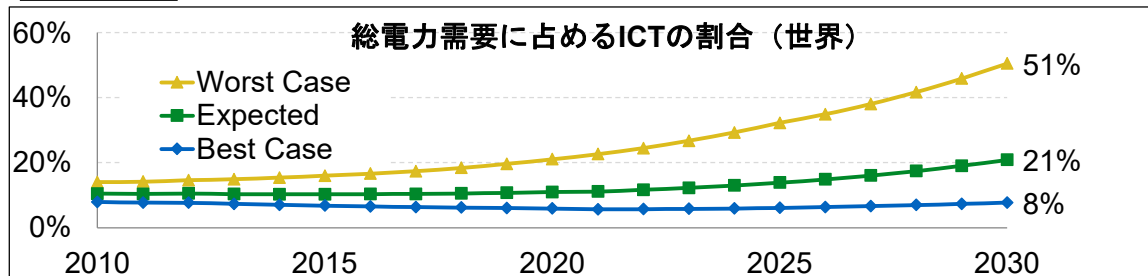
- 通信の高速化、データ量・処理量（トラフィック）の増加など、デジタル分野における国内電力消費量は総電力需要に対して、2030年で最大で1.5倍、2050年で約180倍と試算されている
- 世界推計では、2030年に最悪ケースで総電力需要の51%との試算もある
- 特に、5G通信の実用化、AI等の処理量増加はデータセンターのエネルギー消費を押し上げる要因と想定される

### 国内推計

IT 関連消費電力予測	2016年	2030年	2050年
トラフィック (ZB/年)	4.7	170	20,200
国内消費電力 (kWh/年)	410億	1兆4800億※	176兆2000億※
国内電力需要に占める割合	約5%	1.51倍※	約180倍※

出所：国立研究開発法人 科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター  
「情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響 (Vol.1) - IT機器の消費電力の現状と将来予測-」 平成31年3月 をもとに作成 ※ いずれも省エネ技術革新が十分でない場合であり、2030年度国内電力需要 (9,808億kWh) に対する割合を示している

### 世界推計



出所：Andrae, Anders SG, and Tomas Edler. "On global electricity usage of communication technology: trends to 2030." *Challenges* 6.1 (2015): 117-157.



## 1-4.カーボンニュートラルへの取り組みとグリーンデジタルの必要性

- 社会の成長と共に増加するデジタル領域の消費エネルギーについて、省エネや再エネ利活用に関する取り組みが加速している

### 脱炭素社会に向けた方針

- 2020年10月、日本は2050年までに温室効果ガスの排出量と吸収量を均衡させる、カーボンニュートラルを目指すことを宣言

### グリーンデジタル関連政策

- デジタル領域の消費電力増加が予想される中、CNへの戦略を国が策定
- カーボンニュートラル実現に向けて民間企業の大胆な改革を促す

### 投資家が促すグリーンデジタル

- インデックス機関がDC事業者のESG対応を求めている
- ESG投資の規模が増大する中で、DC事業者の資金調達面に影響

概要

事例

政府は、カーボンニュートラルへ向けて社会経済を大きく変革する以下のような大胆な一歩を踏み出す

- 革新的なイノベーションの促進
- エネルギー政策の推進
- **グリーン成長戦略の実行計画**
- グリーン成長に関する情報公開
- 脱炭素ライフスタイルへの転換
- 新たな地域の創造
- サステナブルファイナンスの推進

### グリーン成長戦略

- 2030年までにすべての新設データセンターを30%省エネ化
- データセンター使用電力の一部再エネ化を目指す

### 地球温暖化対策計画

- デジタル領域の脱炭素化を進めるにあたり、再生可能エネルギーを活用したデータセンターの立地等を進める

### AirTrunk

- 東京圏西部に位置する110メガワット超のデータセンター（2022年9月8日新しく導入したグリーンファイナンスフレームワークの一環として、グリーンローン契約を日本で締結
- サステナビリティ・リンク・ローン（SLL）契約を補完

1. 重要性が増す「グリーンデジタル」への取り組み

2. 変化しつつあるデータ処理基盤

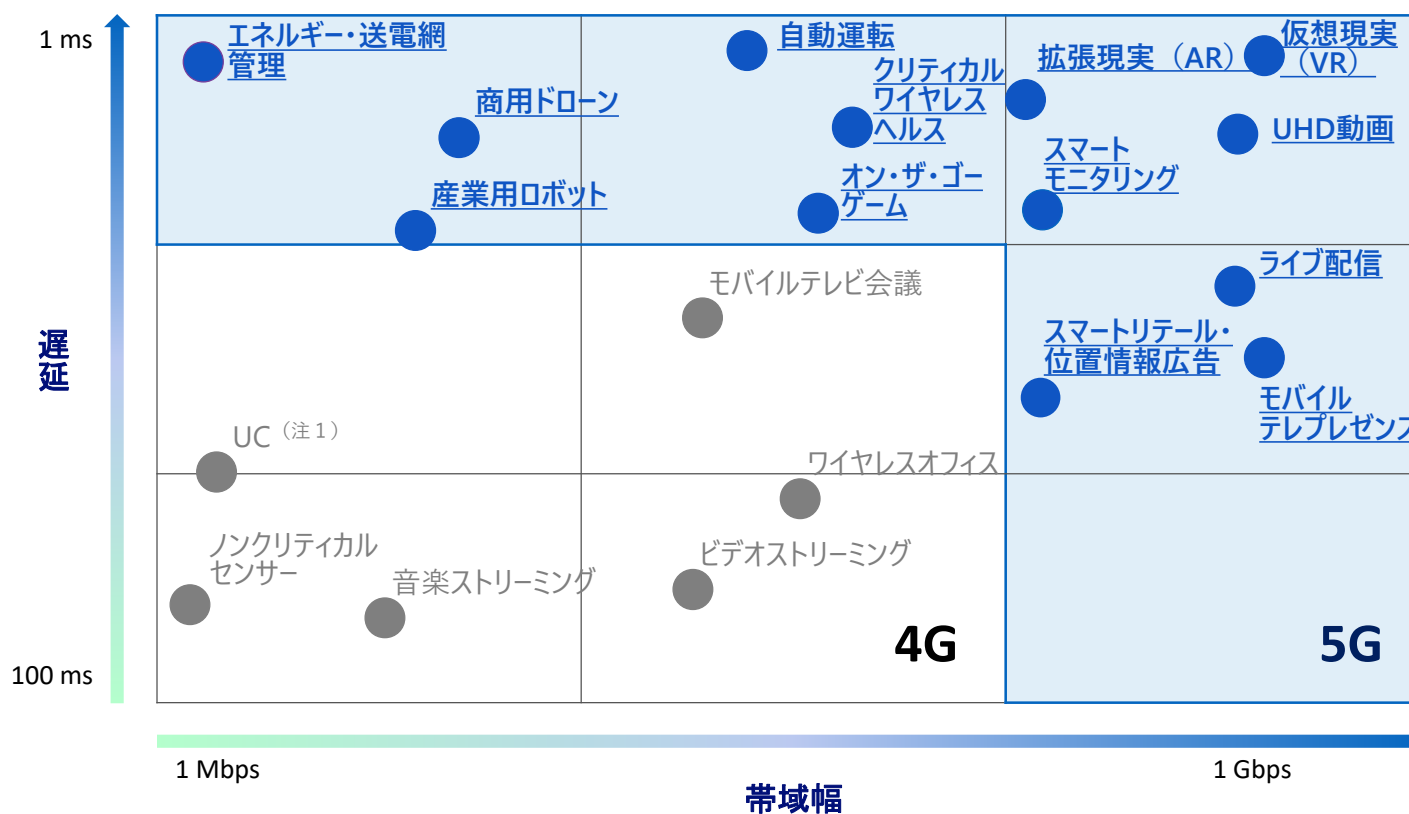
3. データ処理基盤の変化に対応した省エネルギー技術検討



## 2-1. 5Gの影響

- 5G導入に伴う通信の低遅延化・広帯域化により、ネットワークを駆使した様々なサービスが実用化される

### 5Gにより実用化が期待されるサービス



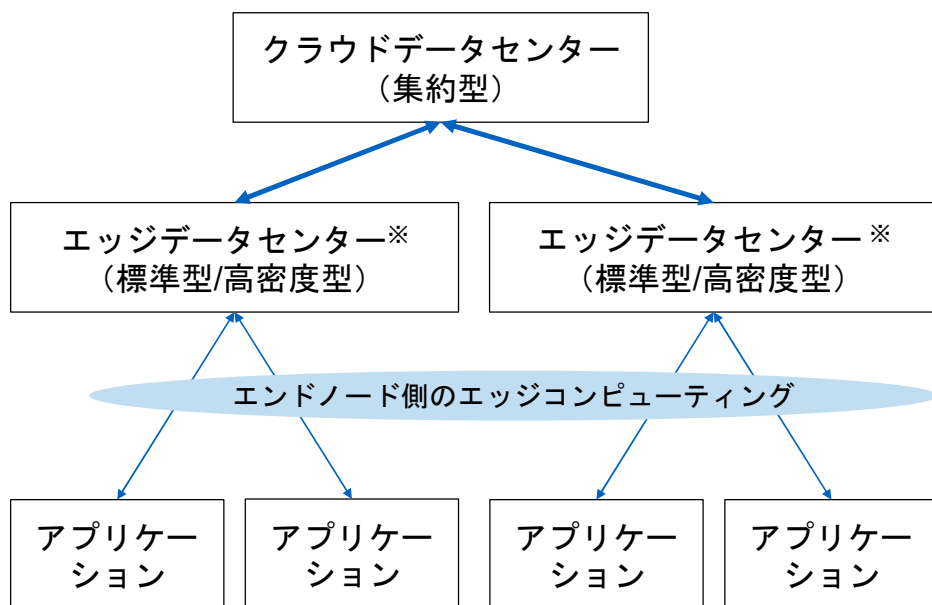
(注1) UC : Unified Communicationの略。電子メールや電話等、様々なコミュニケーション手段をインターネットプロトコルで統合し利用できるためにするための仕組み。

出所) Grand View Research 「Multi-access Edge Computing (MEC) Market」より作成

## 2-2.クラウド市場の普及に伴うデータセンターの変化（見通し）

- クラウドの普及に伴い集約型データセンターが普及する一方、分散的にデータを処理する「エッジデータセンター」の成長も見込まれている
- クラウドデータセンターとエッジデータセンターの主な違いとして、エッジDCは電気容量が小さく、立地が分散し、遅延が少ないことが特徴として挙げられる
- 通信エンドノードに近いところでのエッジコンピューティング（エッジDCよりも小規模なもの）の実装が検討されている

### クラウドデータセンターとエッジデータセンター



### データセンター類型と特徴

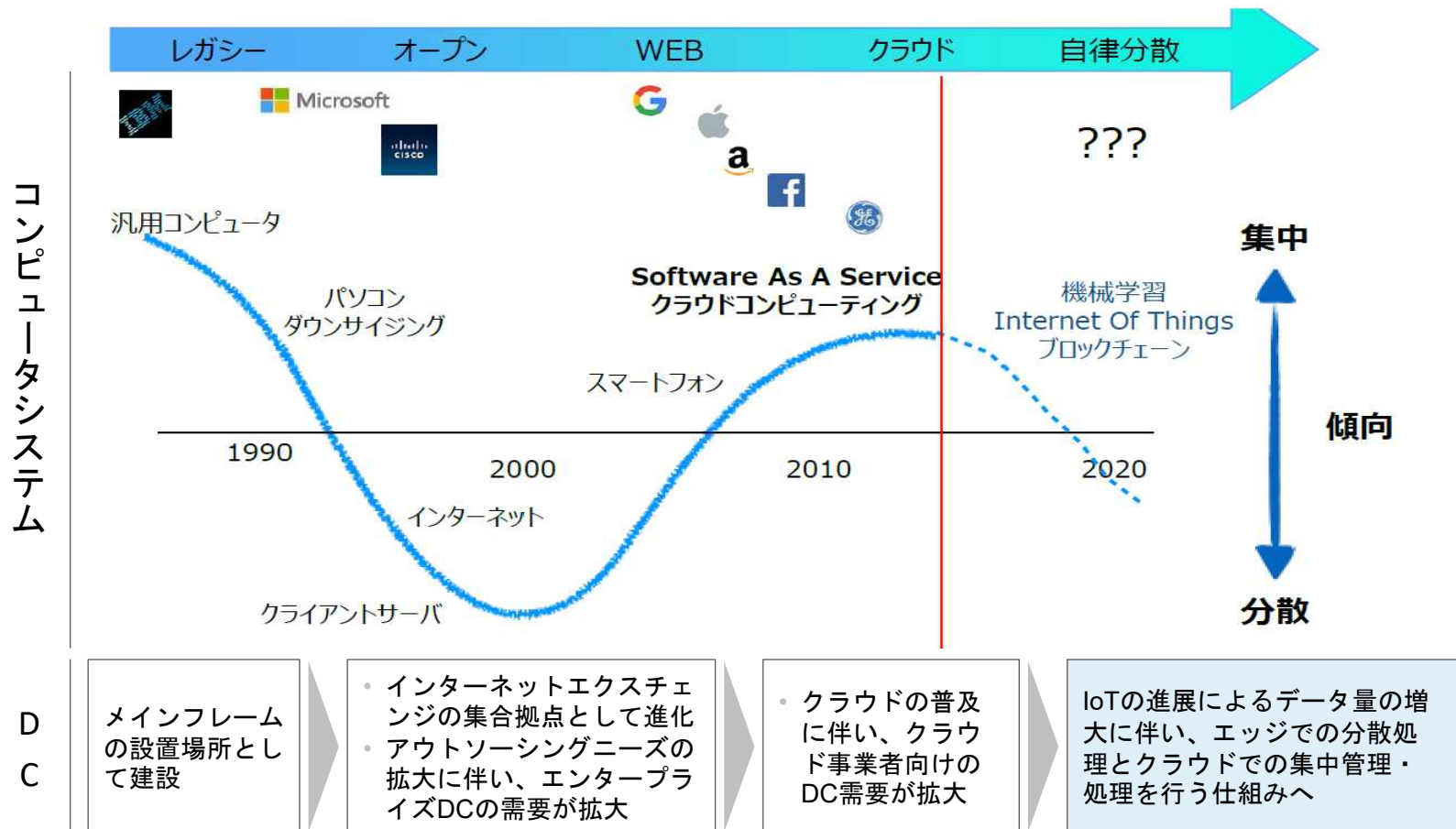
特徴/類型	クラウドDC	エッジDC (標準型)	エッジDC (高密度型)
面積	3,000坪～	1,000～10,000坪	
電気容量 (ラックあたり)	平均8kVA以上 (20～30kVAも)	6kVA前後	12kVA前後
ラック数	1,000ラック～	数百～1,000ラック	
床耐荷重 (㎡あたり)	1.5t以上	0.7t以上	1.0t以上
立地	都市郊外 (都市部から50km圏内)	利用場所の近く (企業や産業の集積地から15km圏内)	
遅延	約100ミリ秒 (0.1秒)	約1ミリ秒 (0.001秒)	

出所) 公開情報をもとにNRI作成

※従来のオフィス・ビルに設置されたサーバやストレージ、無停電電源装置 (UPS)、冷却装置などをモジュールに収容した、「マイクロデータセンター」の形態もある

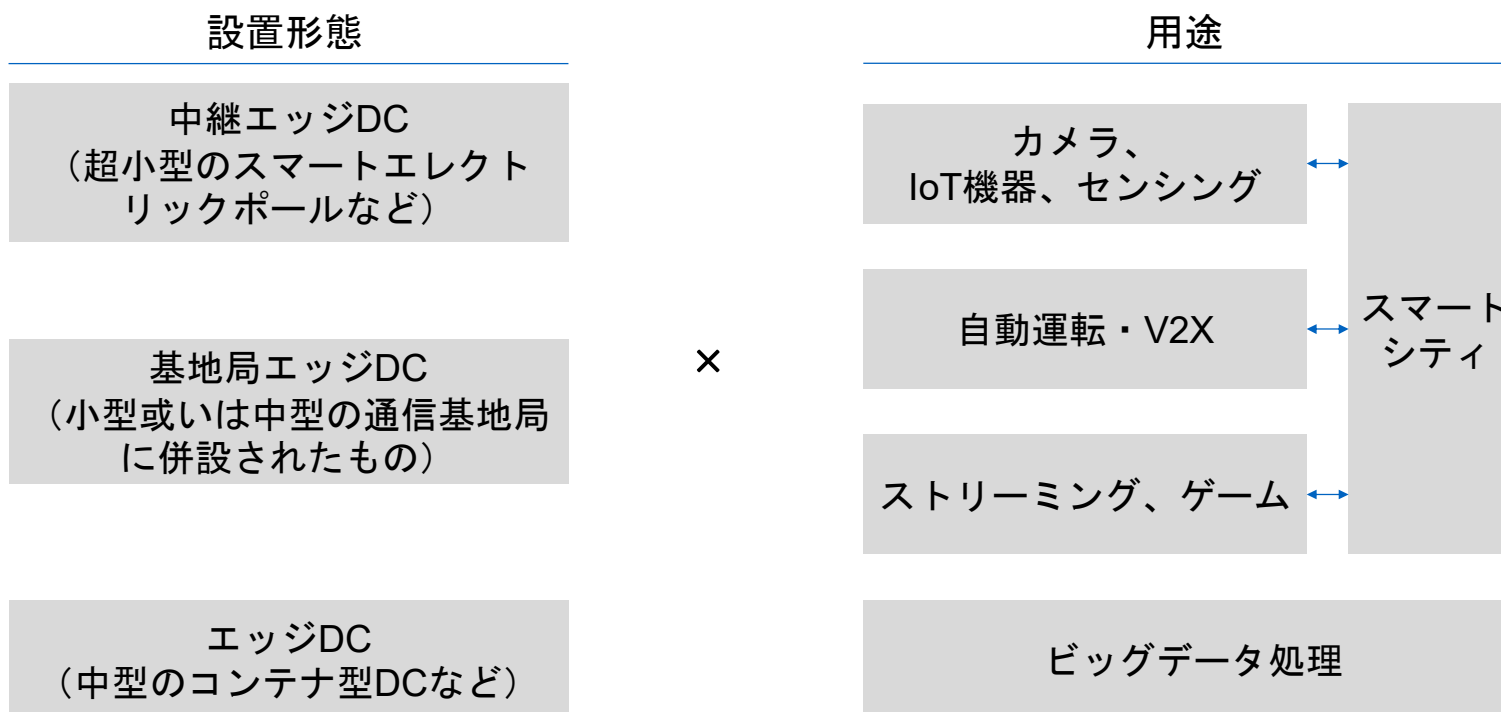
## 2-3.クラウド・IoTの普及がもたらすデジタル基盤の変化（見通し）

- 現状はクラウド化によりデータが集中化していく傾向にあるが、IoTの進展により分散化していくことが予測される



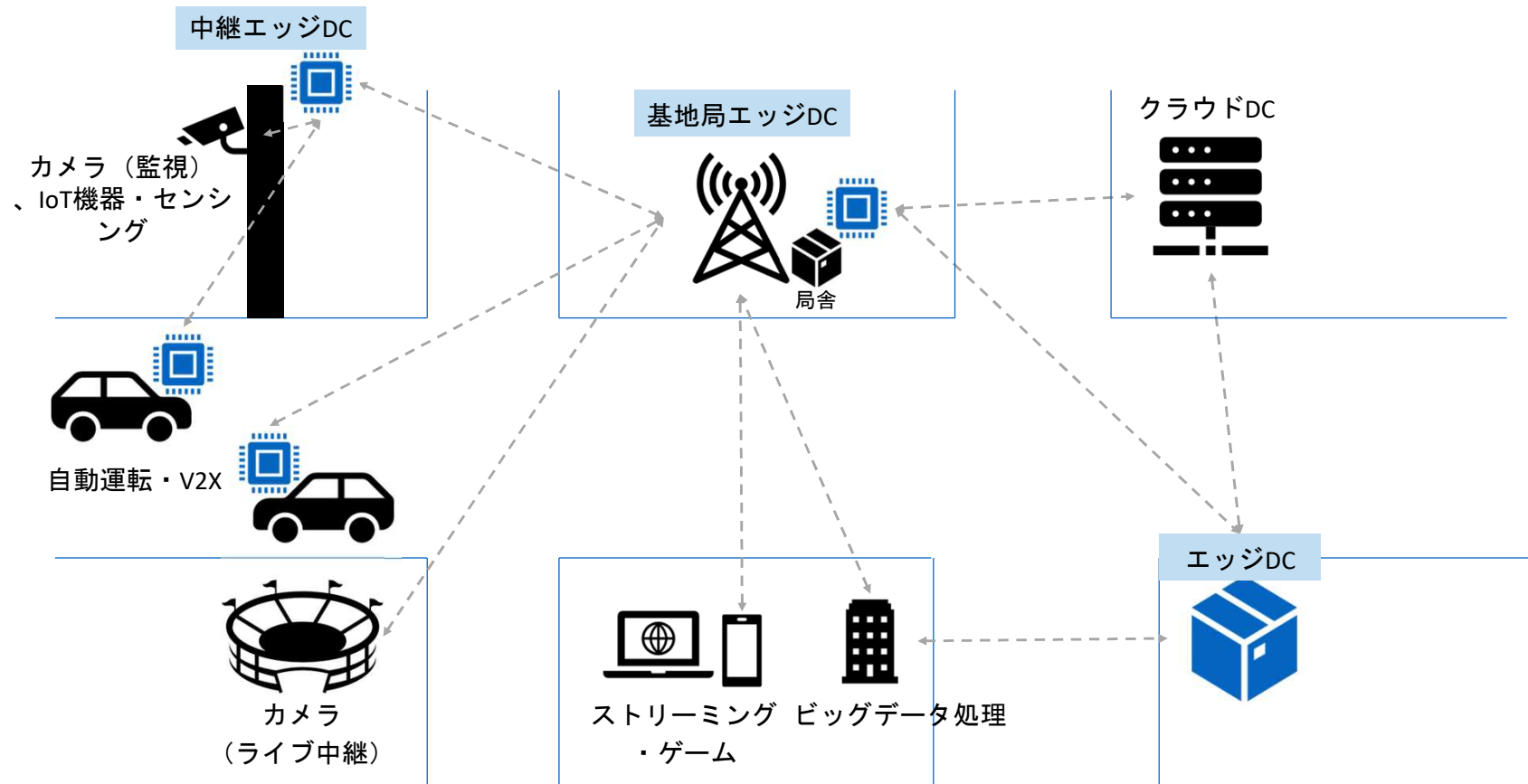
## 2-4.MECの設置形態と用途イメージ

- MECの設置形態ごとにビジネス主体が異なる可能性があると考えられる
- ビジネス主体によって想定しているMECが対応する用途の違いもあるが、現時点では明確な方向性が見えていない



## 2-5. 集中と分散が共存するデータ処理基盤に対応した省エネ技術が必要になる

- マルチアクセスエッジコンピューティング（MEC）の想定されるユースケース
- 高速・大容量、低遅延、多接続対応の3つの特徴を活かし、これまでダウンロード中心だったデータ利活用から、アプリケーションからデータ処理基盤へのアップロード増加という変化に繋がると見られている



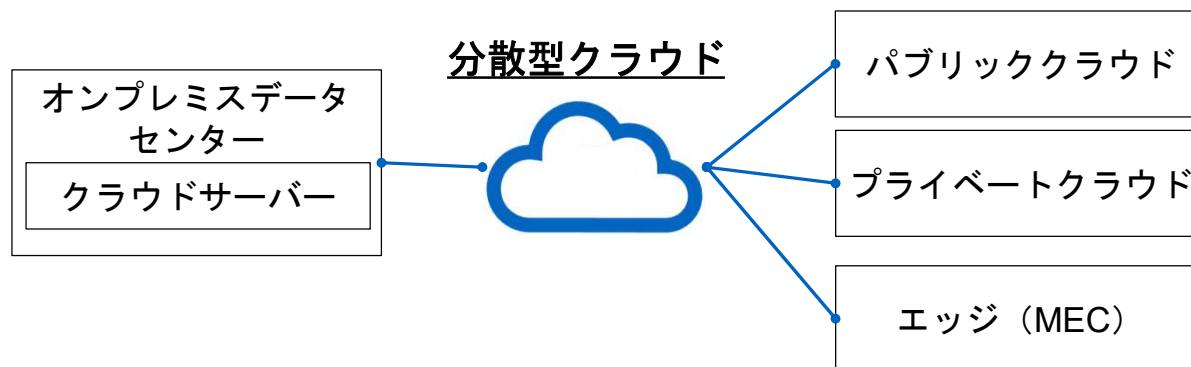
## 2-6. データ処理基盤の変化（エッジ連携の拡大）

- データ処理基盤において、クラウド・エッジ・オンプレミスが繋がり、複雑化が増していく
- 省エネはデータセンター内における「点」での取り組みだけでなく、データ処理基盤全体の面での取り組みが重要性を増していくと考えられる

### ハイパースケーラーのエッジ参入・拡大



### クラウドベンダーの分散型クラウド化



データ処理基盤において、エッジ（MEC）が実装されると、分散化・ローカル化による面的なデータ処理基盤の広がりに繋がる

## 2-7. データ安全保障の観点から求められる対策

- 政府情報システムにおけるクラウドは国内を原則としているのに加え、消費者や企業より国内でのデータ保管を求める動きが強くなっている
- 「政府情報システムにおけるクラウドサービスの利用に係る基本方針」において、政府情報システムにおけるクラウドの利用は、国内データセンタと我が国に裁判管轄権があるクラウドサービスを原則としている。
- 国際的なデータガバナンス規律が不在の中、各国がデータへの政府アクセスやデータ保管義務の規律を強めており、データ保有者にとって信頼あるデータ管理ができる環境が揺らいでいる。

### <各国の動き>

#### 中国



- サイバーセキュリティ法等においては、政府によるアクセス、中国国内でのデータ保管義務、越境移転規制等が含まれる。
- 「グローバル・データセキュリティ・イニシアチブ」において、主権、司法管轄権、データ管理権の尊重を主張（2020年9月）。

#### インド



- 非個人データのガバナンスに関する議論を目的とする専門家委員会を創設（2019年9月）。
- 「非個人データのガバナンス・フレームワーク」に関するレポートを公表（2020年7月）。
- 規制検討の背景として、国民や組織の主権（sovereignty）確保の必要性を強調。

#### 欧州



- 欧州域内のクラウドサービスの統合を図るために「GAIA-X」を正式発足（2020年6月）。
- 「デジタルコンパス2030」をデジタル主権(digital sovereignty)を確保するための戦略的な羅針盤として発表(2021年3月)。

出所) デジタルインフラを巡る現状と課題（2021年4月 経済産業省）

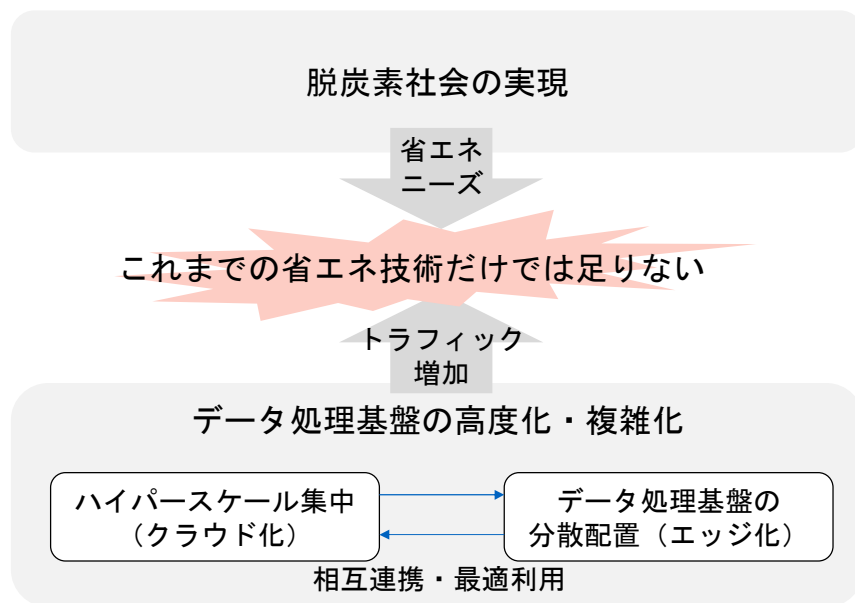
### <企業の声>

- グローバルなプロバイダーは、政府の主張（国家安全保障等）と民間の課題（プライバシーやデータ保護、経済利益等）の対立に挟まれている。
- ガバメントアクセスの範囲に関する不確実性や透明性の欠如、世界的な規範が存在しないことで、テクノロジーの利用に対する不信感が増大している。
- データローカライゼーションは、プライバシーの保護のためではなく、その国の当局がデータに直接アクセスするために行われることが多い。企業や消費者の負担も増え、経済的観点からも望ましくない。

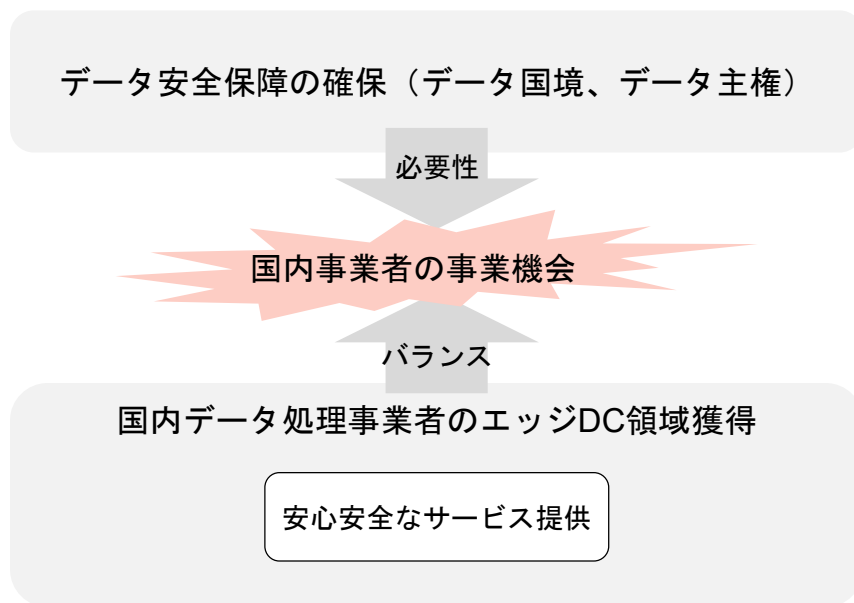
## 2-8.データ処理基盤の変化・動向から見える技術ニーズ

- 脱炭素社会の実現に向けて、グリーンデジタルの必要性・関心が高まっている
- クラウド集中と分散配置の両極化により、データ処理基盤が高度化・複雑化し、トラフィック増加に対する省エネ技術が不足
- クラウドDCの効率的なビジネスモデル拡大と並行し、国内データ処理事業者がエッジDC領域を事業化し、相互連携および安心安全なサービス提供を実現する必要がある

### 社会動向からの技術ニーズ



### ビジネス動向（≒社会実装面）からの技術ニーズ





1. 重要性が増す「グリーンデジタル」への取り組み

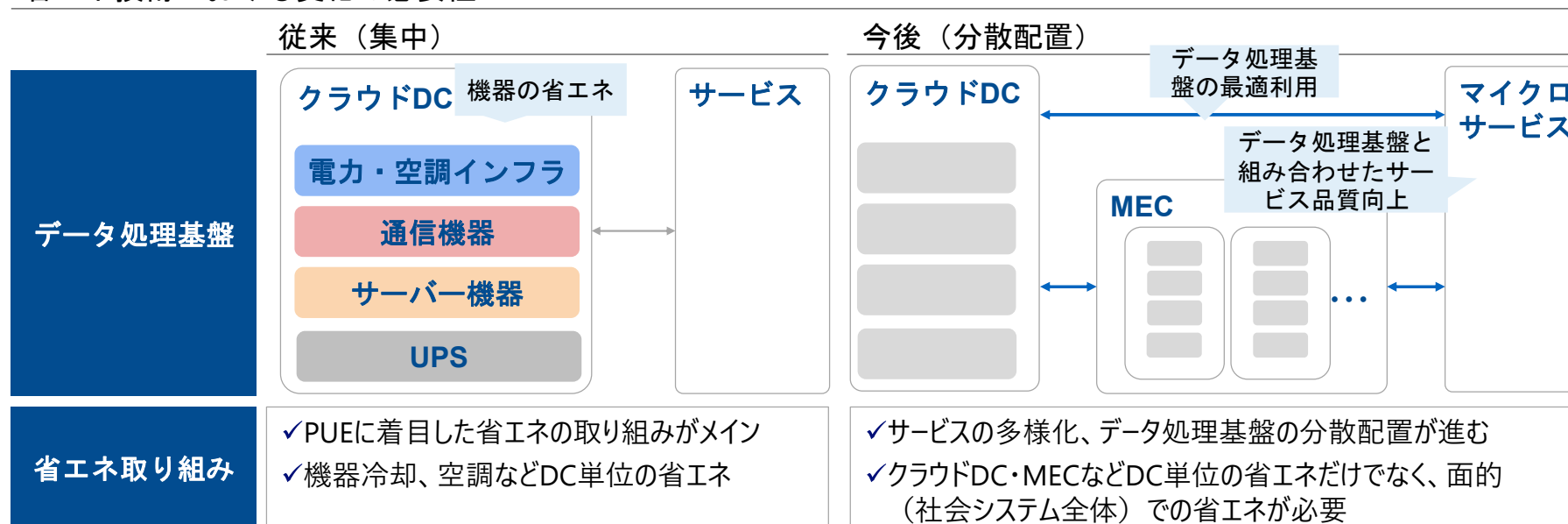
2. 変化しつつあるデータ処理基盤

3. データ処理基盤の変化に対応した省エネルギー技術検討

### 3-1. 集中と分散が進むコンピューティングリソースの省エネ技術の開発

- 従来のデータ処理が集中するクラウドにおける省エネ対策に対し、分散配置が進むデータ処理基盤の最適利用と省エネを両立する技術が求められている
- コンテナ技術の普及により、マイクロサービス化が進むと同時に、集中と分散配置の両極化するデータ処理基盤を最適利用が進む（消費電力は集中だけよりも増加する傾向）
- 従来の機器を中心とした省エネ技術（PUE低減）では限界（PUE1.0に限りなく近づいている）となっており、データ処理の消費エネルギーの低減（分散配置による増加を抑え込む）が必要となっている

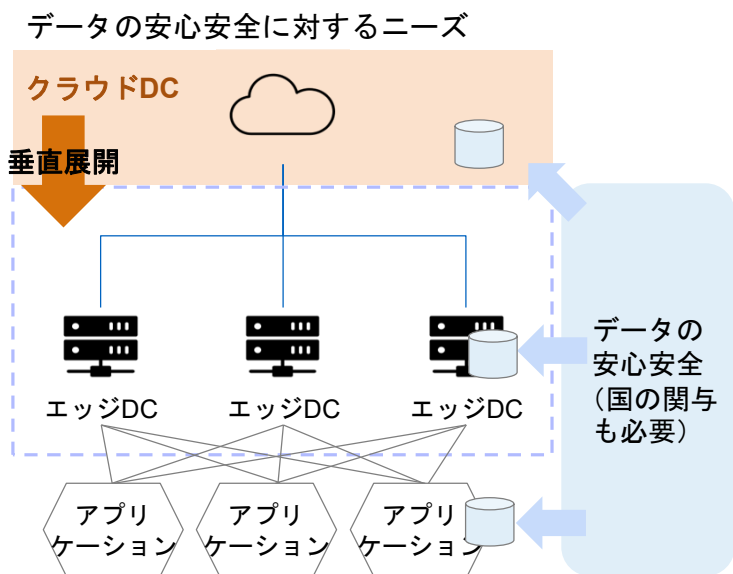
#### 省エネ技術における変化の必要性



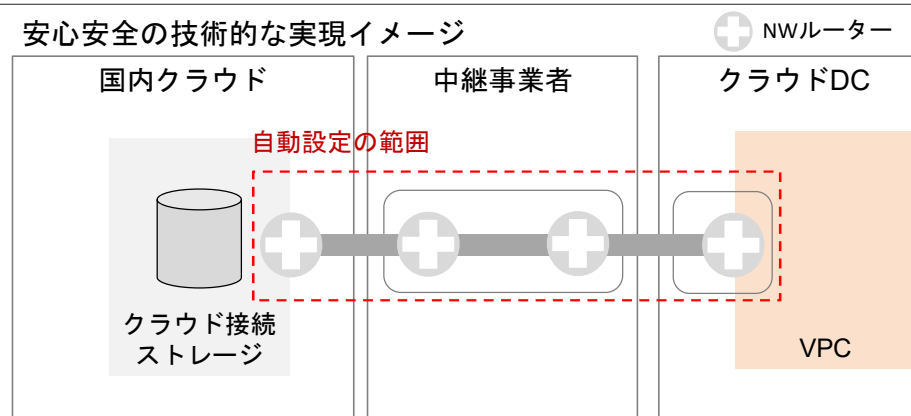
## 3-2.データの安心安全を確保するデータファイアウォール技術の開発

- ハイパースケーラーの国内事業拡大・エッジ参入は国内データ処理事業者にとっての大きな脅威である一方、利用は必要不可欠な状況であり、差別化に繋がる技術が求められる
- ハイパースケーラーは自社のエコシステムやスケールメリットを活かしたサービスを武器に、データロックイン型のビジネスを展開しており、分散配置のエッジ側でも通信事業者と連携して進出を開始
- 一方で、データの安心安全は国内データ処理事業者の強みを発揮できる要素もあるため、データロックインへ対抗できる技術はビジネス・政策の両面からニーズがある

### 分散配置に伴う差別化要素



### 安心安全の技術的な実現イメージ

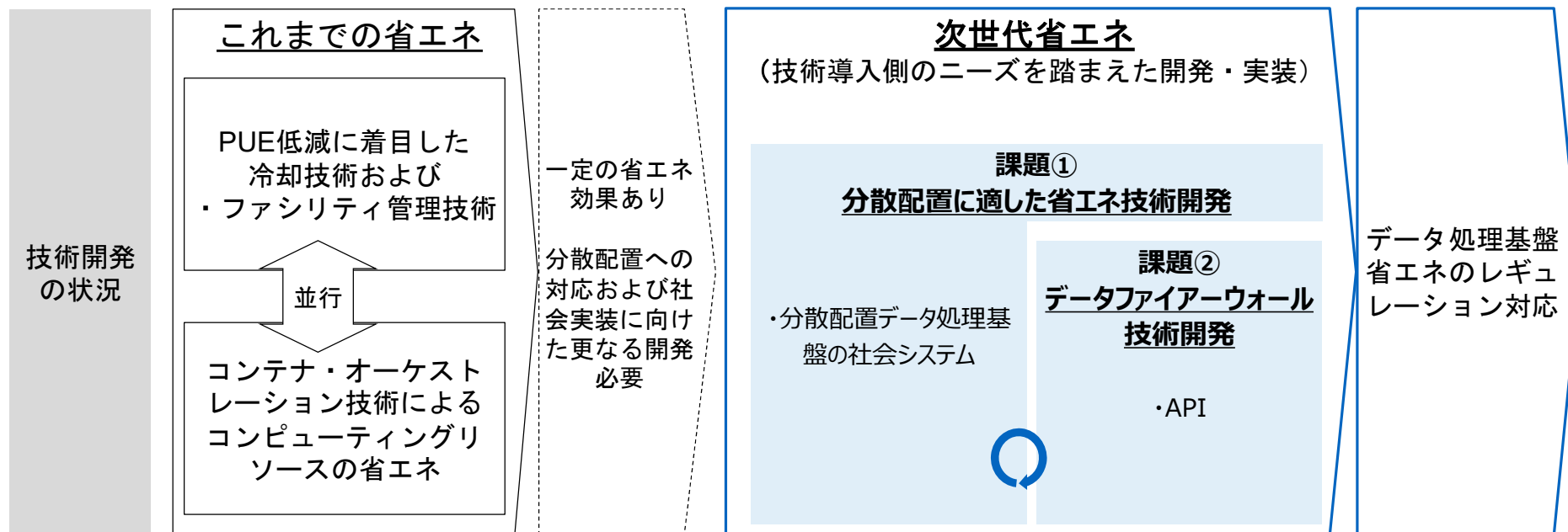


✓ 国内クラウド・エッジDC・ハイパースケーラーの接続において以下を自動設定を実現し、データのメタ情報を隠蔽する技術

- Direct Connect接続の設定
- 仮想プライベートゲートウェイの作成
- 仮想プライベートインターフェースの作成
- VPC (仮想PC) との接続

- 昨年度および第1回技術委員会で検討した技術領域・項目を踏まえた技術開発イメージ

#### 技術導入・社会実装のステップ（イメージ）

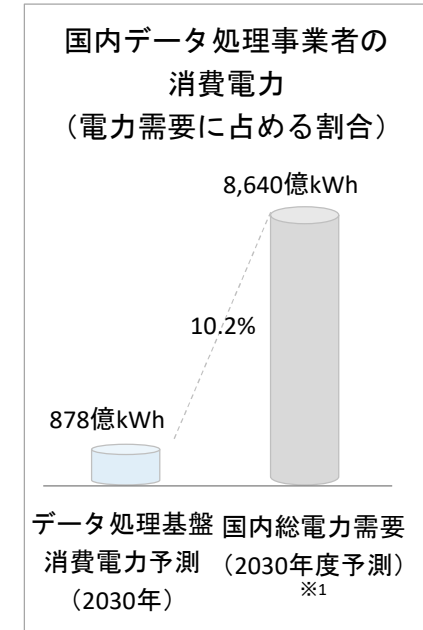


## (参考) 技術開発による省エネルギー効果ポテンシャルの試算

- データ処理基盤（GAFAMのハイパースケールDC除く）における消費電力は、年間  $8.78 \times 10^{10}$  kWh（878億kWh）と予測
- 国内総電力需要（2030年度予測）の約10.2%に当たる消費電力がデータ処理基盤で利用される
- 本技術により、15%の省エネが期待されるため、効果ポテンシャルは  $1.32 \times 10^{10}$  kWh（132億kWh）と推測

### 国内データ処理事業者の消費電力予測（2030年時点）

		サーバあたり消費電力	サーバ数		合計年間消費電力量
データセンター	ベース業務サーバ	240 W	×	$1.4 \times 10^7$ 台	$\times 24\text{h} \times 365\text{日} = 2.94 \times 10^{10}$ kWh/年
	AI業務サーバ	1.3 kW	×	$1.4 \times 10^6$ 台	$\times 24\text{h} \times 365\text{日} = 1.59 \times 10^{10}$ kWh/年
	ストレージ				$3.00 \times 10^{10}$ kWh/年
	スイッチ・空調等				$1.20 \times 10^{10}$ kWh/年
		基地局MECの消費電力	マクロセル基地局数		
	MEC（基地局）	0.51 kW	×	9万箇所	$\times 24\text{h} \times 365\text{日} = 0.04 \times 10^{10}$ kWh/年
	MEC（工場等）				$0.13 \times 10^{10}$ kWh/年
省エネルギー効果ポテンシャル（2030年時点）					$\downarrow 15\%^{**2}$ $1.32 \times 10^{10}$ kWh



※1 2030年度におけるエネルギー需給の見通し（省エネ対策後の目標） 令和3年9月 資源エネルギー庁

※2 大阪大学 松岡教授のWAO（Workroad Allocation Optimizer）のダミー負荷による事前確認に基づく

※ サーバ・MECの消費電力およびサーバ数・基地局数の詳細は別紙に記載



## (参考) 省エネルギー効果ポテンシャル試算の根拠情報

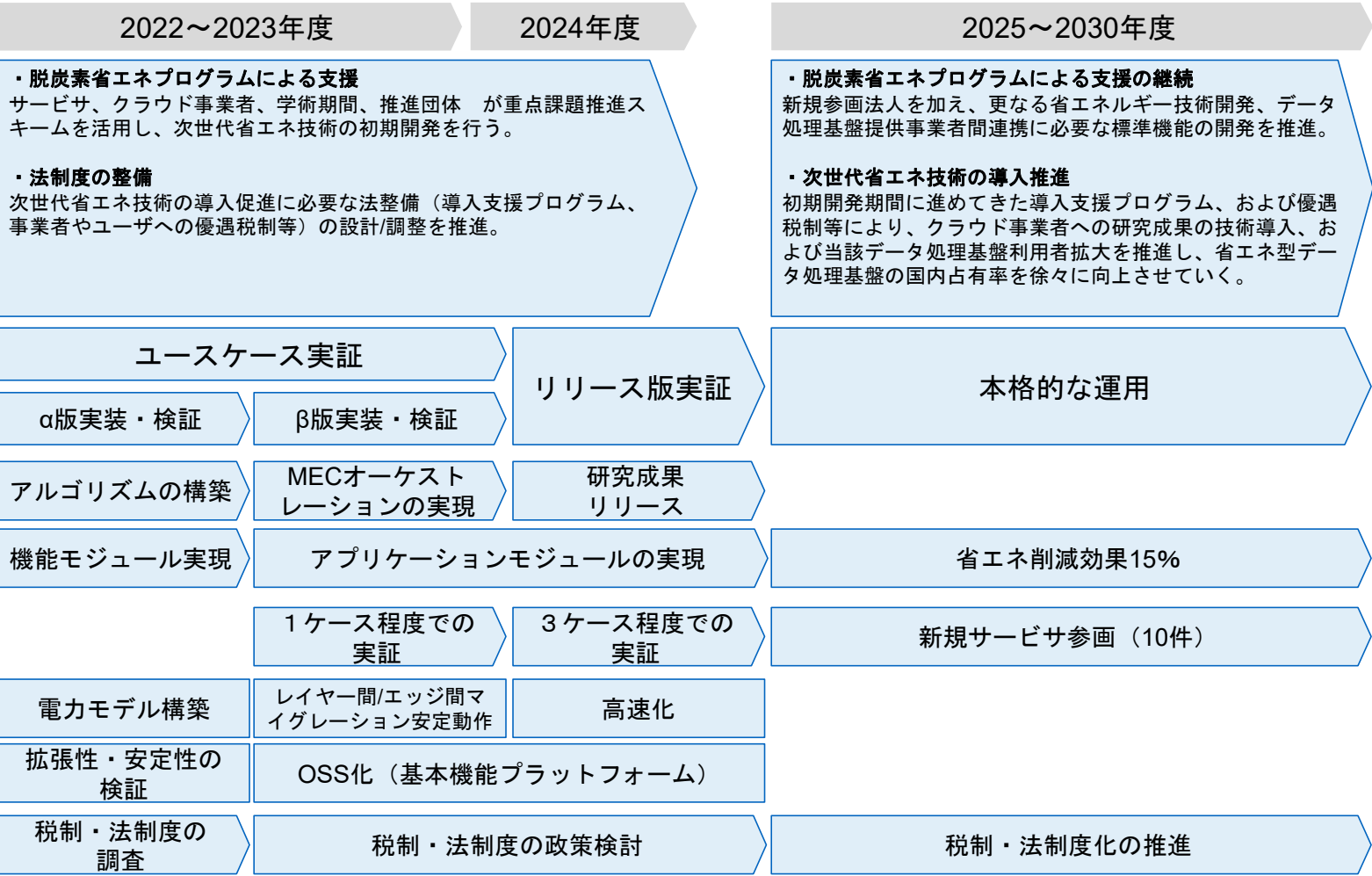
- クラウドデータセンター
  - ベース業務サーバ、AI業務サーバ、ストレージ、スイッチ、空調等の消費電力はそれぞれ [1] を参照して記載。
- MEC (基地局)
  - 国内基地局数を 90万局と推定 [3, p. 31]。
  - 基地局は、マクロセル基地局 (制御基地局) とスモールセル基地局の2種類とし、基地局数比は1:9とした [2, p. 12]。
  - マクロセル基地局の消費電力は 5.1 kW と想定 [2, p.15]。
  - MEC はマクロセル基地局のみに配置され、MEC の消費電力は基地局の消費電力の10%と仮定。
- MEC (工場等)
  - MEC 全体から基地局 MEC (IT, telecom) を除いたものを MEC (工場等) と定義した。
  - 2027年におけるMEC全体の市場規模は0.62億ドル、うち基地局MECの市場規模は0.15億ドル [4]。
  - 市場規模と消費電力が比例関係にあると仮定すると、MEC (工場等) の消費電力はMEC (基地局) の (62-15)/15 倍。
- 参考文献
  - [1] 国立研究開発法人科学技術振興機構 『低炭素社会実現に向けた政策立案のための提案書情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響 (Vol.2) 』 (2021)
  - [2] 国立研究開発法人科学技術振興機構 『低炭素社会実現に向けた政策立案のための提案書情報化社会の進展がエネルギー消費に与える影響 (Vol.3) 』 (2021)
  - [3] 株式会社MCA 『携帯電話基地局市場及び周辺部材市場の現状と将来予測2016年版』 (2016)
  - [4] Grand View Research “Multi-access Edge Computing (MEC) Market”



# 想定される技術開発要素とロードマップ

## 初期開発期間

## 成果の導入拡大期間



**テーマ名：分散配置コンピューティングシステムの負荷の最適配備を可能にする運用技術の開発**

助成事業者： Neutrix Cloud Japan株式会社、日本電気株式会社、篠原電機株式会社、株式会社ビットメディア  
共同研究先・委託先： 国立大学法人大阪大学

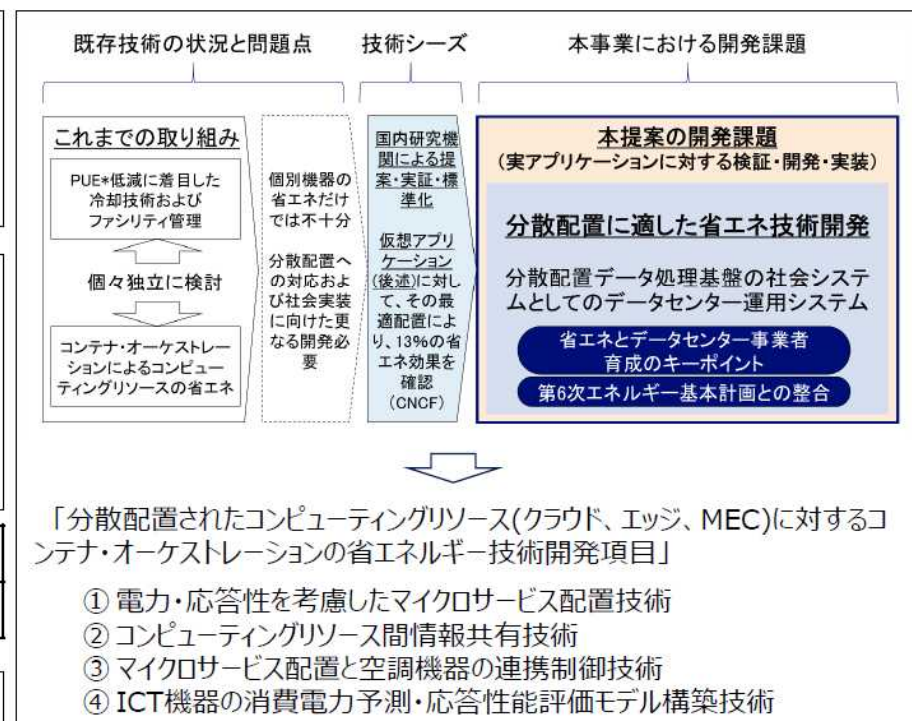
開発フェーズ 重点課題推進スキーム（フェーズⅠ）3年	関連する「省エネ技術戦略の重要技術」 省エネ型データセンター技術	開発期間における助成金額 3億円以上
-------------------------------	-------------------------------------	-----------------------

**対象技術の背景**  
クラウドの大規模化や面的に広がる社会基盤としてのコンピューティングシステム（エッジコンピューティング、以下エッジ）の増加や、その電力上昇（エッジヘビー化）による総電力の急増への対応が喫緊の社会的課題となっている。

**テーマの目的・概要**  
面的に配置された社会基盤としてのコンピューティングシステム群（クラウド、エッジ、MEC）に対して、処理負荷とサーバーの消費電力の関係に基づき、消費電力の予測とコンピューティングリソースのスケジューリングとを連携させ、全てのサーバーへの処理負荷の最適配備による省エネを実現する。

省エネ効果量（国内） （原油換算）	2040年
	86.4万 kL/年

**見込まれる成果**  
本技術開発の運用システムの適用範囲が、クラウド-エッジ-MECと、面で社会実装される多様な成果となること、および負荷の最適配置によってコンピューティングシステム全体の省エネとなるため、省エネルギー効果量は86.4万kL/年となる。



**省エネ技術開発のポイント**  
本開発は、分散配置されたコンピューティングリソースに対するコンテナ・オーケストレーションの省エネ機能の開発を目指すものである。