

レファレンスモデル 2版

ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業／ポスト5G情報通信システムの開発／超高効率AI計算基盤の研究開発



※この成果は、NEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の委託事業
「ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業」（JPNP20017）の結果得られたものです。

株式会社インターネットイニシアティブ

1. はじめに

- 1.1 背景と目的
- 1.2 レファレンスモデルの位置づけ

2. 液冷技術の分類と特徴

- 2.1 液冷技術の分類
- 2.2 循環方式
- 2.3 液冷方式
- 2.4 Liquid to Liquid (Direct Liquid Cooling)
- 2.5 Liquid to Liquid (Immersion Cooling)
- 2.6 Liquid to Air
- 2.7 各方式の比較と適用シナリオ

3. 設備構成要素

- 3.1 冷却水供給システム
 - 3.1.1 冷却方式の選定
 - 3.1.2 熱源機器と外気冷却との連携
 - 3.1.3 水質管理
 - 3.1.4 冷媒の温度・流量・圧力
- 3.2 Coolant Distribution Unit (CDU)
 - 3.2.1 CDUの種類と選定
 - 3.2.2 インローCDUの特長
 - 3.2.3 インラックCDUの特長
- 3.3 配管構成
 - 3.3.1 サーバ室内水配管の設計
 - 3.3.2 配管の比較
- 3.4 監視・制御システム
 - 3.4.1 CDUの制御機能
 - 3.4.2 中央監視システムとの連携
- 3.5 電力供給システム
 - 3.5.1 液冷機器の電力負荷と供給計画

4. データセンター設計指針

- 4.1 建築・レイアウト設計
 - 4.1.1 サーバ室内機器レイアウト
 - 4.1.2 液冷対応を考慮した建屋構造（耐荷重）
 - 4.1.3 天井高・床下スペースの設計要件
 - 4.1.4 搬入用通路幅
- 4.2 液冷設備の配置と配管設計
 - 4.2.1 インローCDUの配置設計
 - 4.2.2 TCS用冷媒配管ルート設計
 - 4.2.3 TCS用冷媒配管材質の選定
 - 4.2.4 バルブ・継手・センサーの配置設計
- 4.3 冗長設計
 - 4.3.1 熱源の冗長化
 - 4.3.2 冷却水系統の冗長化設計

5. 導入・工事

- 5.1 施工区分
 - 5.1.1 液冷設備における施工区分
- 5.2 輸送・搬入
 - 5.2.1 機器輸送計画の策定
 - 5.2.2 搬入計画の策定
- 5.3 設置工事
 - 5.3.1 インローCDUの設置工事
 - 5.3.2 TCS配管の敷設工事
 - 5.3.3 インラックCDUへの配管接続工事
- 5.4 試験・テスト
 - 5.4.1 データセンター事業者での動作試験
 - 5.4.2 サーバラックユーザとの連動試験

6. 運用・管理

- 6.1 メンテナンス
 - 6.1.1 各種メンテナンスと保守部品の確保

7. エネルギー効率の計測

- 7.1 エネルギー効率指標（PUE / WUE）
 - 7.1.1 PUEとWUEの測定

8. 今後の展望

- 8.1 今後の展望および改版計画

1.はじめに

1.1 背景と目的

- 背景

近年、デジタル化の進展により、AI技術の利活用が多様な産業領域で急速に拡大している。AI技術は大規模データに対して演算処理を繰り返し学習することで新たなモデルを生成するため、大量の計算資源が不可欠である。AI技術の普及に伴い、計算資源への需要は急速に増加しています。

また、計算資源の需要増加に伴った計算機器の高電力化等により、データセンターで広く採用されている空冷での冷却方式では能力が不足してしまう現象が生じてきている。これに対応するため、近年では計算機器の液冷化が進んできており、国内外で広く注目されている技術です。

しかし、液冷技術は家庭用機器やスーパーコンピュータ用データセンターなど限られた場面でのみ利用されてきており、汎用のデータセンター内への適用には、様々な構成要素を整理、規格化、標準化などの課題が存在しています。

- 目的

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）から採択を受けた「ポスト5 G情報通信システム基盤強化研究開発事業／ポスト5 G情報通信システムの開発／超高効率AI計算基盤の研究開発（以下、本研究）」における研究項目の1つとして「大規模商用サービス展開に向けた高密度データセンター基盤技術の研究開発」があり、その一環としてレファレンスモデルの開発をします。

本レファレンスモデルでは液冷技術を汎用のデータセンターに適用するための知見等を広く共有していくことで、データセンター産業自体の発展へ貢献するものとします。

1.2 レファレンスモデルの位置づけ

- レファレンスモデルの使い方

高密度なAI計算基盤を日本国内の商用データセンターにおいて汎用的なサービス展開をする際に、本レファレンスモデルを参照し設計・構築・運用へ反映させることで、より効率的な開発が行えます。

また、開発面だけでなく、液冷技術における体系的な技術要素や構築・運用における知識の獲得が可能なため、データセンター産業界に関わる全ての方へ参考となります。

- 主な記載内容

研究で得た知見を本レファレンスモデルに反映するため、方式はLiquid to Liquid方式を用いたDirect Liquid Coolingに関する技術要素等を中心に記載します。

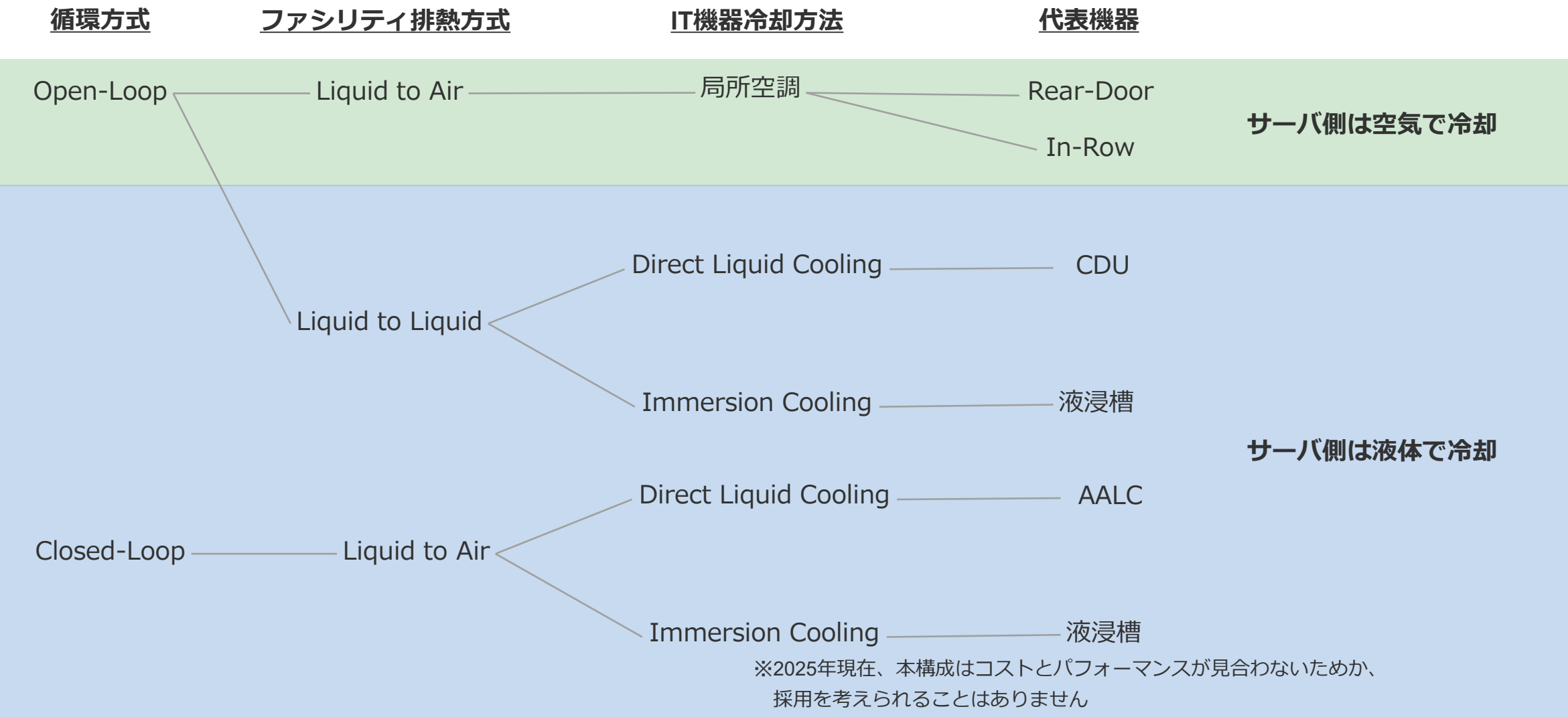
- 液冷技術に関する基本事項
- Liquid to Liquid方式を用いた液冷対応データセンターファシリティ設計
- Direct Liquid Coolingに必要な液冷対応データセンターファシリティ設計
- 液冷対応データセンターファシリティの導入工事／運用管理に関する留意事項
- その他

※主にはデータセンターファシリティに関する内容を記載するため、AIに関するアルゴリズムやサーバ設計などは記載の対象外です。

2.液冷技術の分類と特徴

2.1 液冷技術の分類

液体を用いた冷却技術には様々な方式が存在するため、目的用途に合わせた選定と設計を行うことが重要です。
本レファレンスモデルでは、代表的な液冷技術を以下のように分類し、以降のページで左のカテゴリから順番に解説を加えていきます。



2.2 循環方式

今回はデータセンター事業者から見たときの液体の循環方式をOpen/Closedの2種類に分類別けしました。

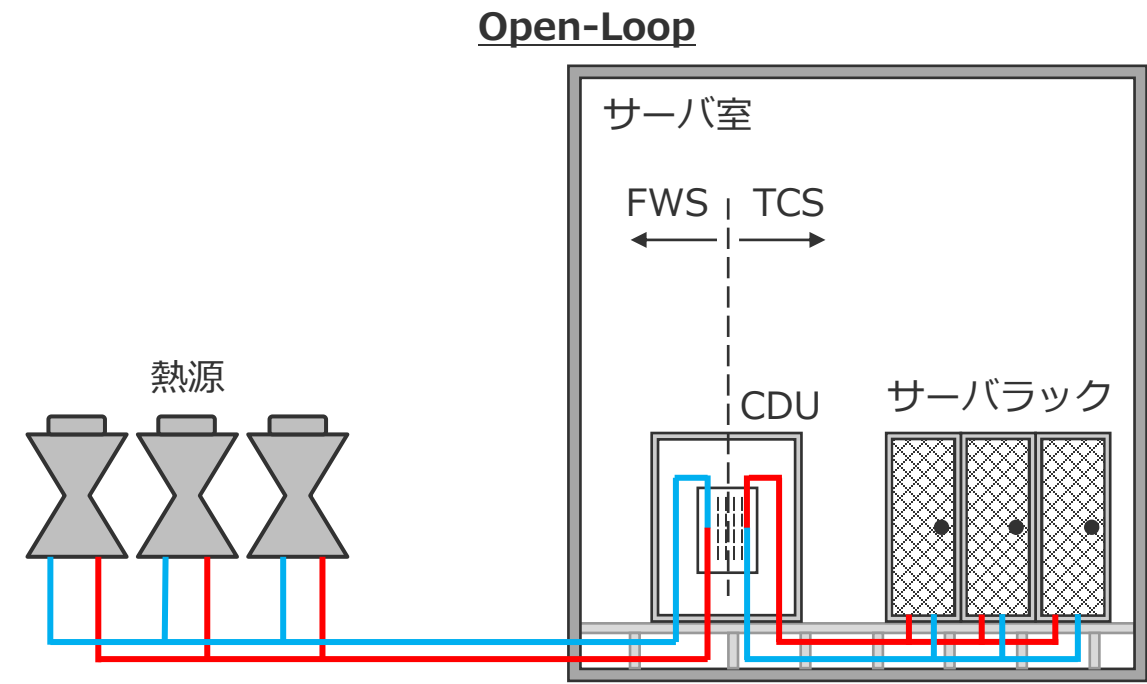


図2.2-1 : Open-Loop方式の構成例

- サーバ室外部に液冷設備用の熱源を設置する方式です

メリット	- 高負荷サーバラックの冷却が可能 - 冷却のエネルギー効率が非常に良い
デメリット	- 専用熱源の設置が必要 - 液冷用配管等の新たな設備構築が必要

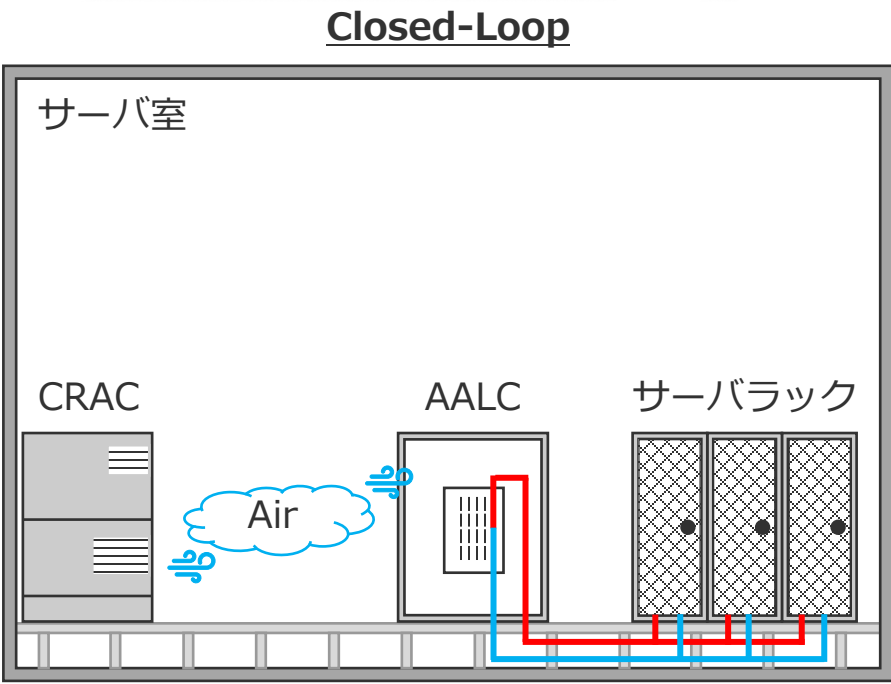


図2.2-2 : Closed-Loop方式の構成例

- サーバ室内で液冷設備が完結する方式です

メリット	- 既存の空調を用いて液冷設備の構築が可能 - 大幅な改修工事が困難な施設への構築に最適
デメリット	- 液冷能力は既存空調の能力に依存する - Open-Loop方式ほどの高負荷対応は困難

FWS : Facility Water System
TCS : Technology Cooling System

「Water-Cooled Servers Common Designs, Components, and Processes (PDF) 」 (ASHRAE、2019)にて定義されています

© Internet Initiative Japan Inc.

2.3 液冷方式

液冷方式にはLiquid to airとLiquid to Liquidの2種類あります。

LTL(Liquid to Liquid)

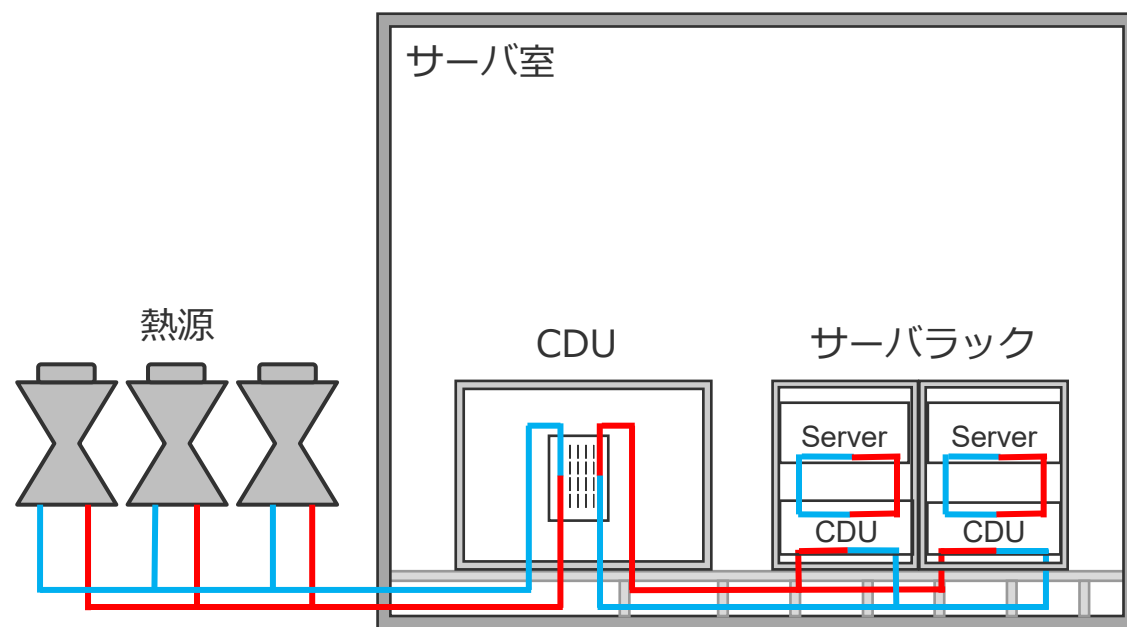


図2.3-1 LTLの構成例

- 液体から液体に熱交換をする方式です
- 液体を用いてサーバ内のパーツ（GPUなど）を冷却します
- 直接液体と接触させて冷却する場合や、コールドプレートを通じて冷却する場合があります

LTA(Liquid to Air)

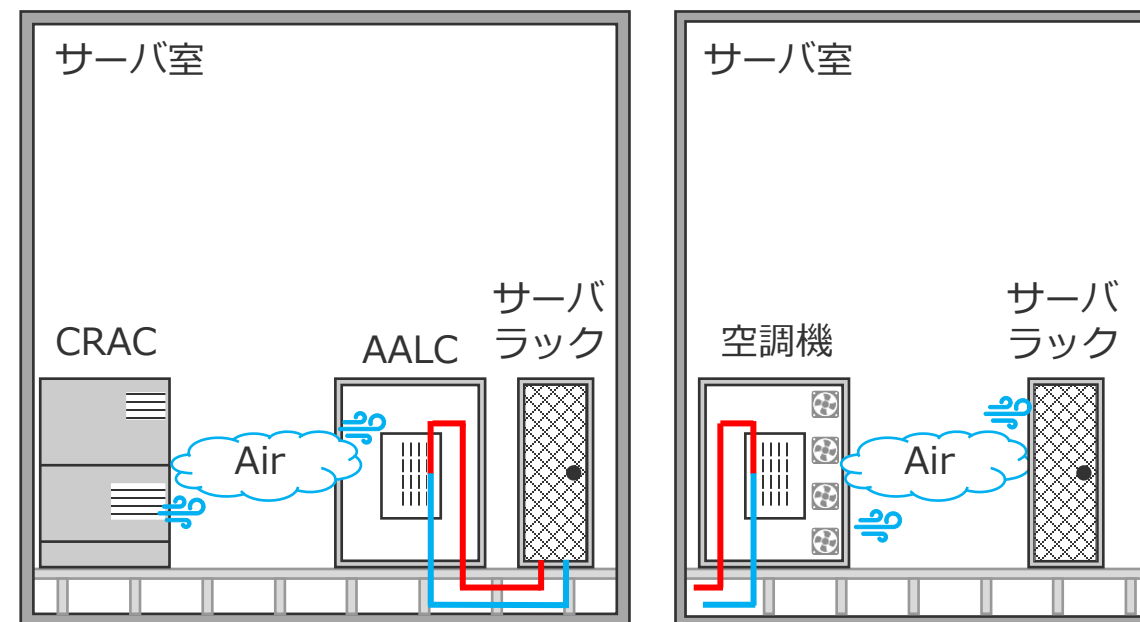


図2.3-2 LTAの構成例

- 液体から気体若しくは、気体から液体に熱交換をする方式です
 - e.g. Rear-Door空調機、In-Row空調機、AALC
- 液体を用いて局所的に空冷能力を増加させたい場合や、既存の空調設備を用いて液冷設備を構築する場合に用います

2.4 Liquid to Liquid(Direct Liquid Cooling)

サーバ内のGPUチップ等にコールドプレートを設置して、液体をコールドプレートへ流し、循環させることで熱交換を行う方式です。

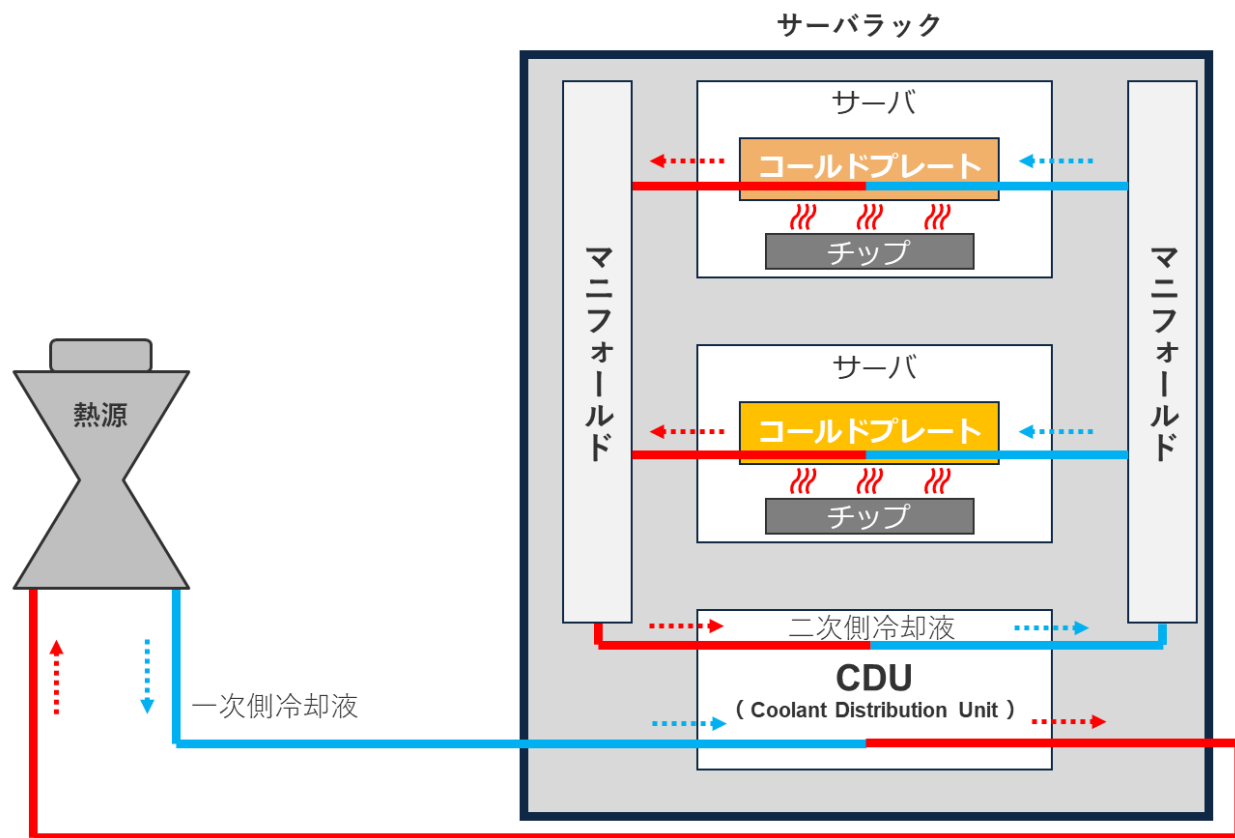


図2.4-1 : Direct Liquid Coolingの構成例

- 現在、世界的にも主流な液冷方式であり、NVIDIA GB200/GB300を採用しているサーバにも用いられています
- 空冷方式等と比較して非常に高い冷却性能が期待できます
- 「富岳」や「京」のスーパーコンピュータには10年以上前から用いられている方式ですが、データセンターへの適用は昨今の課題です (e.g. 導入コスト、納期、漏水対策、冗長化、設計 (耐荷重、スペース、配水、配電、配管など)、運用)
- サーバの冷却は液体のみでなく、従来の空冷方式との併用が必要です (一部例外あり)

2.5 Liquid to Liquid (Immersion Cooling)

DLCとは異なり、サーバと冷却液を直接接触させて冷却を行う方式です。

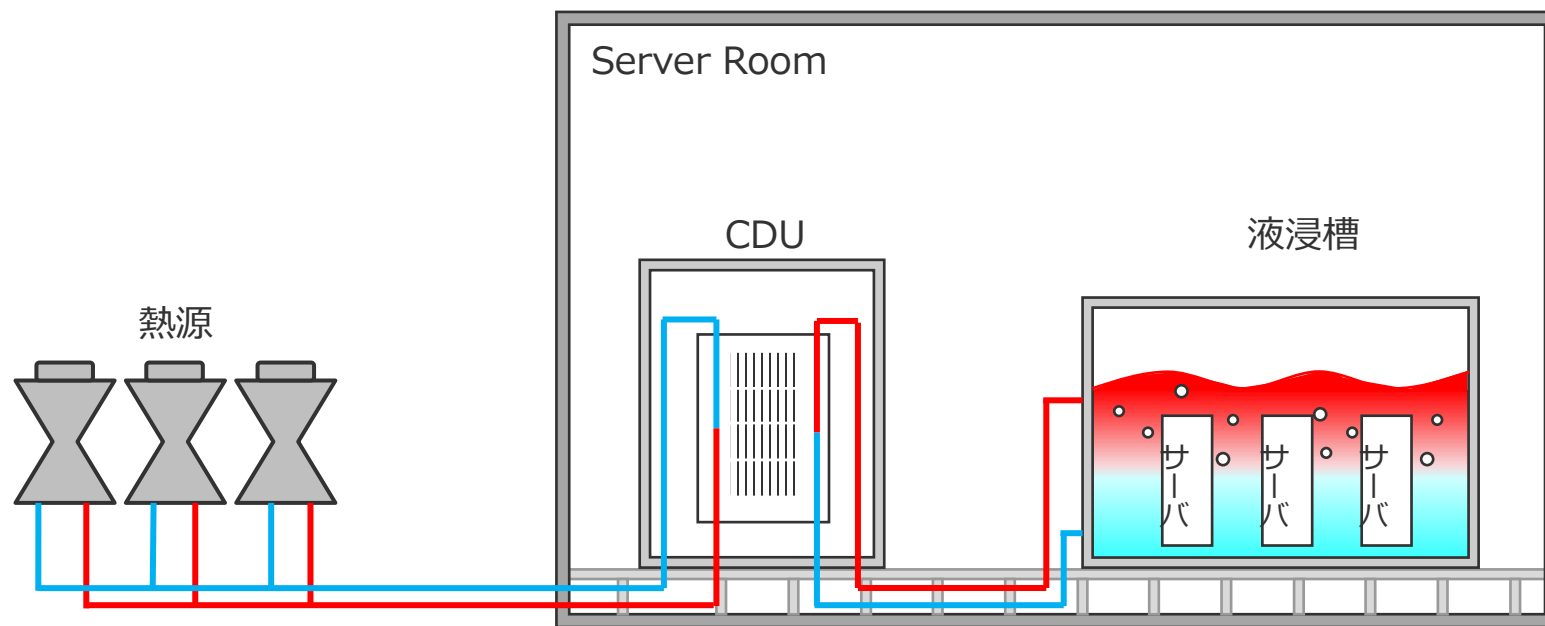


図2.5-1：液浸冷却（单相式）構成例

- 冷却液とサーバ全体が直接熱交換することから冷却効率は非常に良く、従来の空冷方式も必要ないことから冷却の高い省エネ性が期待できます
- 使用する冷媒は絶縁性の液体を使用し、フッ素系不活性液体やシリコンオイル等を用います
- エネルギー効率が非常に良いとされる一方で、データセンターへの適用には多くの課題が残っています
 - 専用の液浸槽とサーバの用意、サーバのメンテナンス方法、槽内での光ケーブル使用、など

2.6 Liquid to Air

液体と気体を熱交換する方式で、Rear-Door空調機やAALCなどの製品に採用されている方式です。

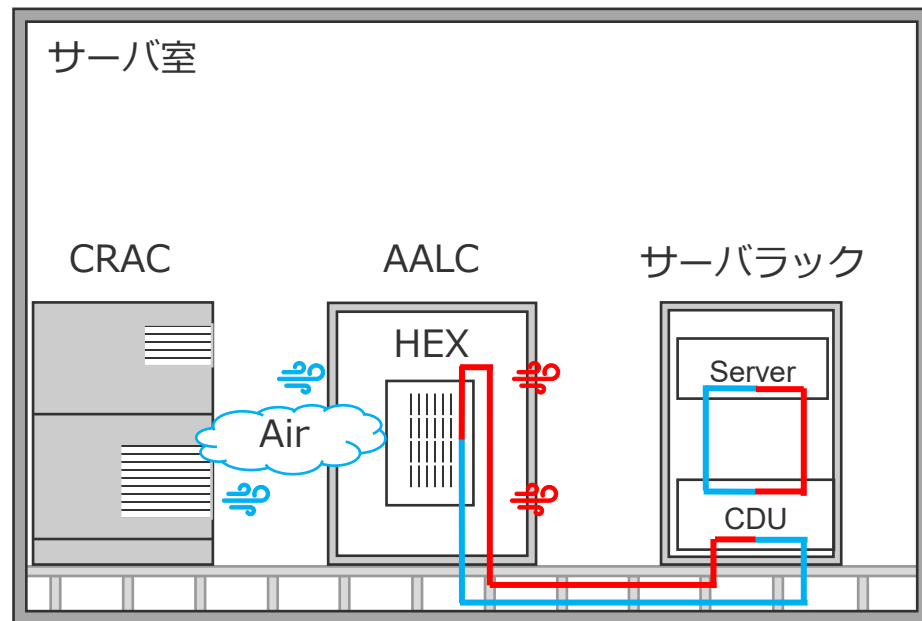


図2.6-1 : AALCの構成例

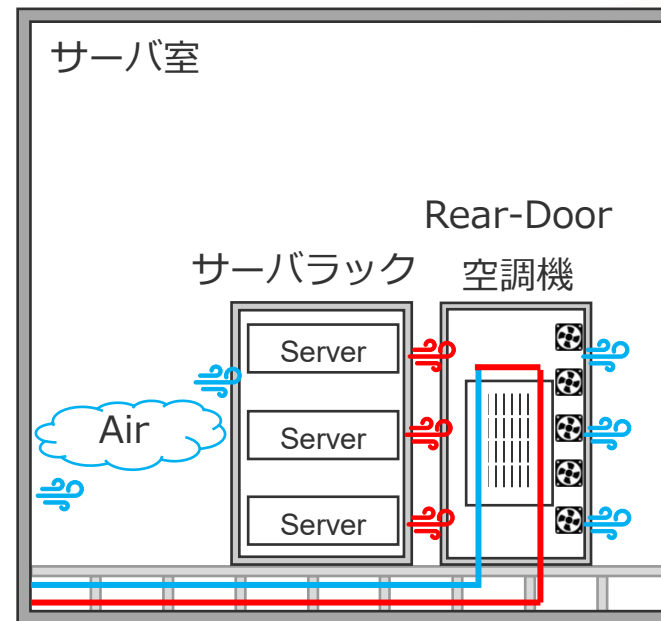


図2.6-2 : Rear-Door空調機の構成例



nVent社 Rear-Door空調機
(RDHX PRO Active)

- 液体→気体の熱交換
 - e.g. Rear-Door空調機、In-Row空調機、ハイブリッド型内部冷却機
 - サーバラック、サーバ機器単位で局所的に空気で冷却する場合に用いる方法で、既存の空調設備では冷却が困難な場合などで採用します
- 気体→液体の熱交換
 - e.g. AALC (Air Assisted Liquid Cooling)
 - 外部（屋外等）からサーバ室へ水配管を敷設できない場合に用いる方法で、既存の空調設備を用いて液冷設備構築が行えます
- どちらも気体の熱交換を局所的に行うため、ファンによる騒音が増大する傾向にあります

2.7 各方式の比較と適用シナリオ

冷却方式		冷却能力	メリット	デメリット	適用シナリオ
LTL	DLC	100kW/Rack超	- 非常に高い冷却能力による高密度実装が可能 - 液体による冷却のため省エネ	- 外部からサーバ室へ水配管を引き込む必要がある - 空冷方式のハイブリッドが必要 - 別途熱源スペース等が必要	- AIの学習／推論用サーバの冷却 - 高密度、高負荷サーバラックの実装
	液浸冷却	200kW/槽	- 空冷が不要なことによる非常に高い省エネ性 - ファン不要による静音化	- 外部からサーバ室へ水配管を引き込む必要がある - サーバの保守が高難度 - 専用の冷媒や液浸槽が必要	AIの学習／推論用サーバの冷却
LTA	Rear-Door空調機	70kW/Rack	- 従来のサーバラックに取付け可能（後施工可能） - コンテインメントが不要（条件あり）	- 外部からサーバ室へ水配管を引き込む必要がある - 騒音値が約90dB発生 - 特殊な冗長性の確保が必要	- DLCの空冷負荷冷却 30~50kW/Rackの中負荷サーバラック（空冷）
	In-Row空調機	50kW/Rack	- 機器台数による冗長性確保が可能 - 従来と同様のIT機器運用が可能	- 外部からサーバ室へ水配管を引き込む必要がある - 騒音値が約90dB発生 - サーバラック間に機器を設置する必要がある	- DLCの空冷負荷冷却 15~35kW/Rackの中負荷サーバラック（空冷）
	AALC	100kW/Rack超	- 既存空調を用いたDLC方式の採用が可能 - 水配管を外部から引き込む必要がない - 液冷用熱源が不要	- 騒音値が約100dB発生 - AALCの能力は既存の空調能力に依存	既存のサーバ室に低コストでDLCを導入する場合

3 設備構成要素

3.1 冷却水供給システム

3.1.1 冷却方式の選定

項番2で示した液冷方式の種類からLTLでのDirect Liquid Cooling方式を選択します。

また、液体は特に高発熱するGPU等を局所的に冷却するために使用され、この場合は電源やメモリ等のパーツを従来の空気による冷却が必要となります。

今回は、多くのケースで必要となる液冷と空冷のハイブリッドでの冷却方式を用いて記載をします。

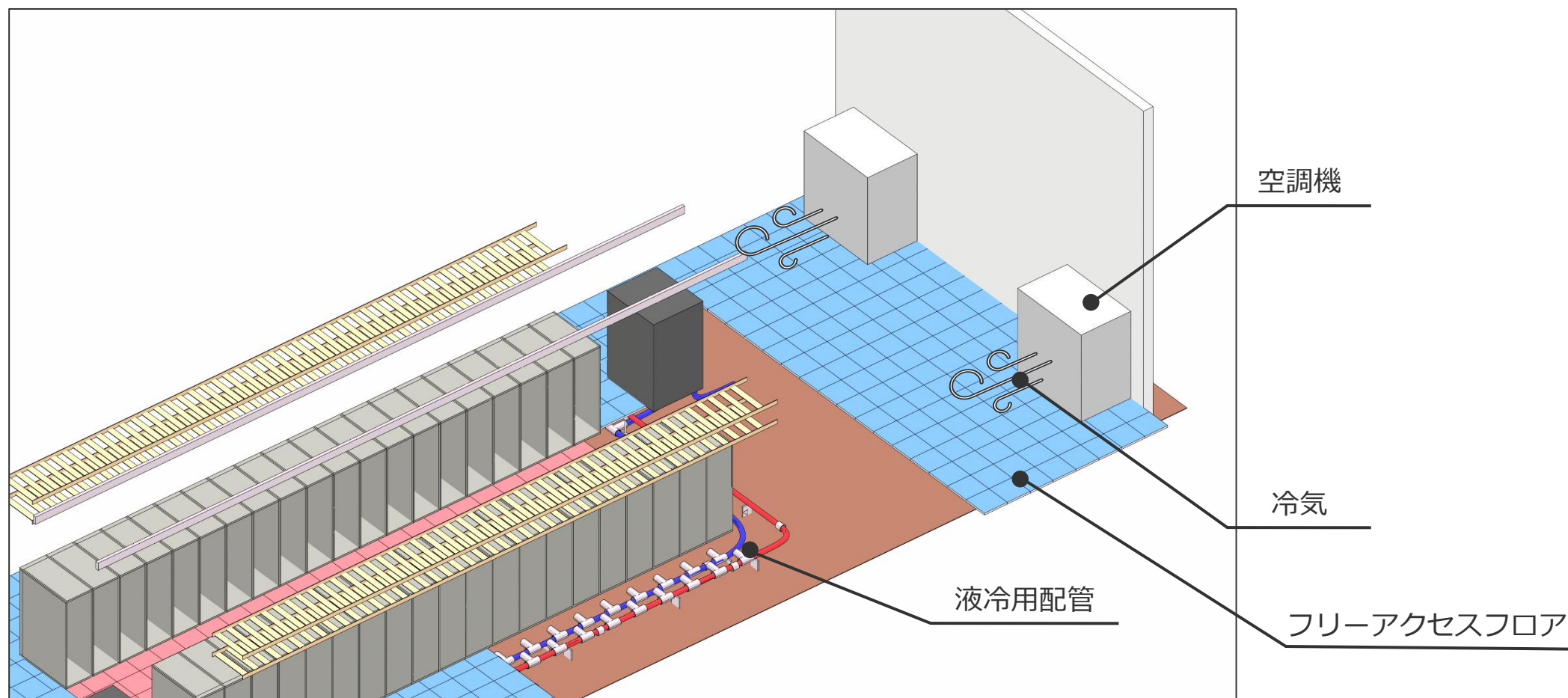


図3.1.1-1：ハイブリッド構成の例

3.1.1 冷却方式の選定

- 空冷の選択肢
空冷には従来から用いられている方式（床吹き出し、壁吹き出し等）に加えて、L2A方式を用いた局所空調設備の導入も考えられるようになりました。
局所空調設備には以下の通り、大きく2種類に分類されます。

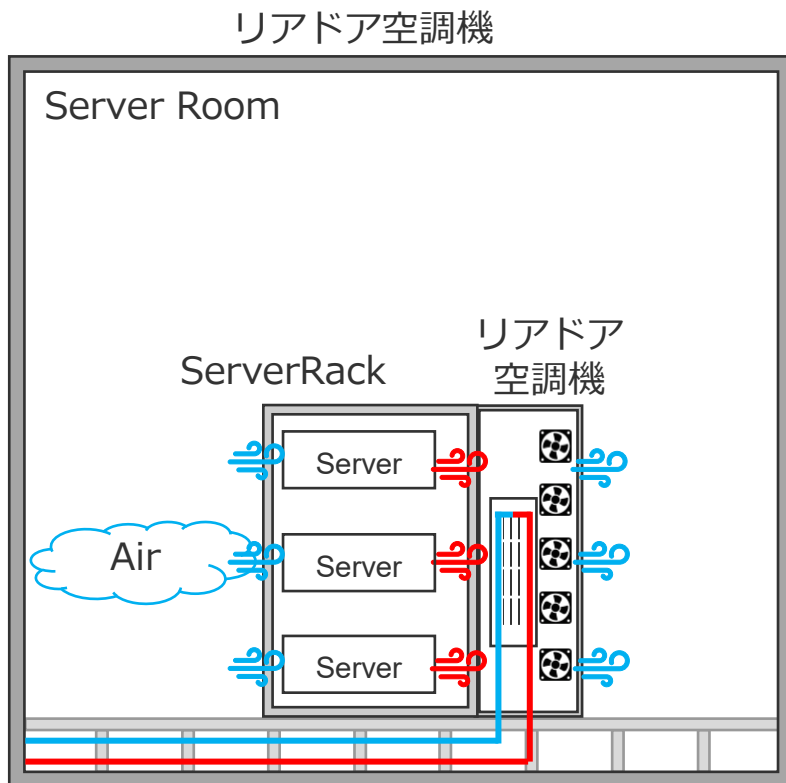


図3.1.1-2：リアドア空調機の構成例（側面）

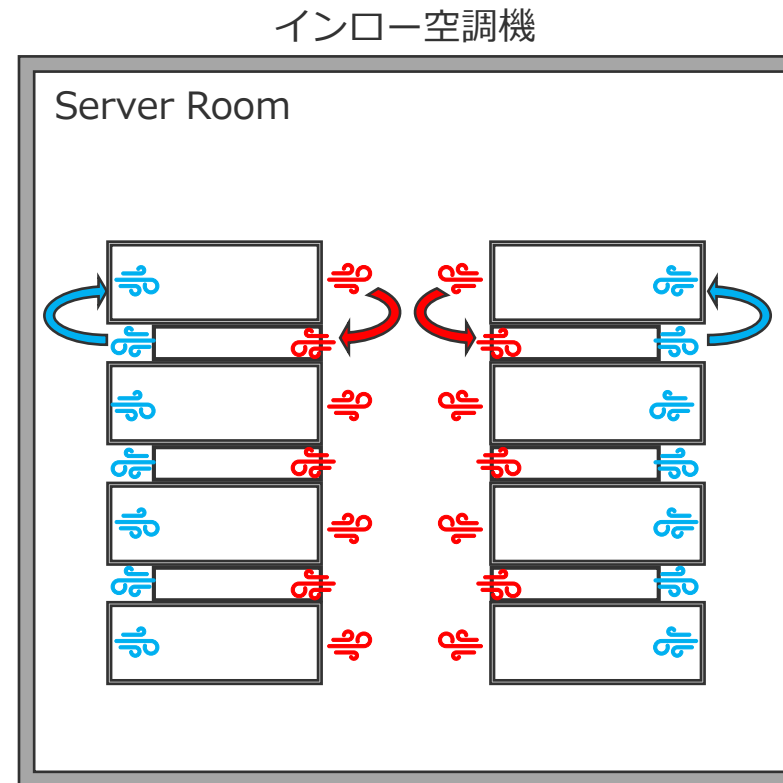


図3.1.1-3：インロー空調機の構成例（平面）

局所空調を採用する最大のメリットとしては空冷の能力が高いことが挙げられます。従来空冷方式では15~20kW/Rackが限界と言われていましたが、局所空調機は40~70kW/Rackの冷却が可能です。局所空調機は冷水をサーバ室へ引き込む必要があったため、従来では採用難度が高い一面がありましたが、液冷対応のサーバ室であれば水配管の引き込みを実施するケースが多く、局所空調機の採用難度は下がります。

3.1.1 冷却方式の選定

• 空調方式の比較

空調方式	冷却単位 (機器：サーバラック)		冷却能力		冗長性		保守性（サーバラック）	
床吹き出し空調	-	ルーム単位	△	~20kW/Rack	◎	熱源、空調機での冗長性確保が容易	◎	空調機によるサーバラックの保守影響なし
壁吹き出し空調	-	ルーム単位	△	~20kW/Rack	◎	熱源、空調機での冗長性確保が容易	◎	空調機によるサーバラックの保守影響なし
リアドア空調	-	サーバラック単位 (1：1)	◎	~70kW/Rack ※約14℃送水時	△	- 冗長構成の実装が困難 - 空気のみキシングなどを用いた冗長性の確保は可能	△	- サーバラック背面作業時はリアドア空調機を開ける必要がある - 長時間の開放は冷却に影響がある
インロー空調	-	サーバラック単位 (1：N) ※インロー空調機のスペックとサーバラックの負荷による	○	~40kW/Rack ※約14℃送水時	○	- 空調機での冗長構成が可能 - エアフローを考慮した配置検討が必要	◎	空調機によるサーバラックの保守影響なし
総評	- サーバラックの空冷負荷が2kW以下のケースが多い場合は床・壁吹き出し空調を導入し、部分的に局所空調を用いる - 冗長性・保守性の観点ではリアドア空調機よりインロー空調機が有利 - 冷却効率にはリアドアが有利であるため、供給する冷水温度が高くなる場合はリアドアの選択が好ましい							

3.1.2 熱源機器と外気冷却との連携

液冷サーバ等へ冷媒を送る際に、冷媒温度を高く設定する場合は外気を活用したフリークーリング機能を有する熱源機器を選定すると省エネ性の向上に期待できます。

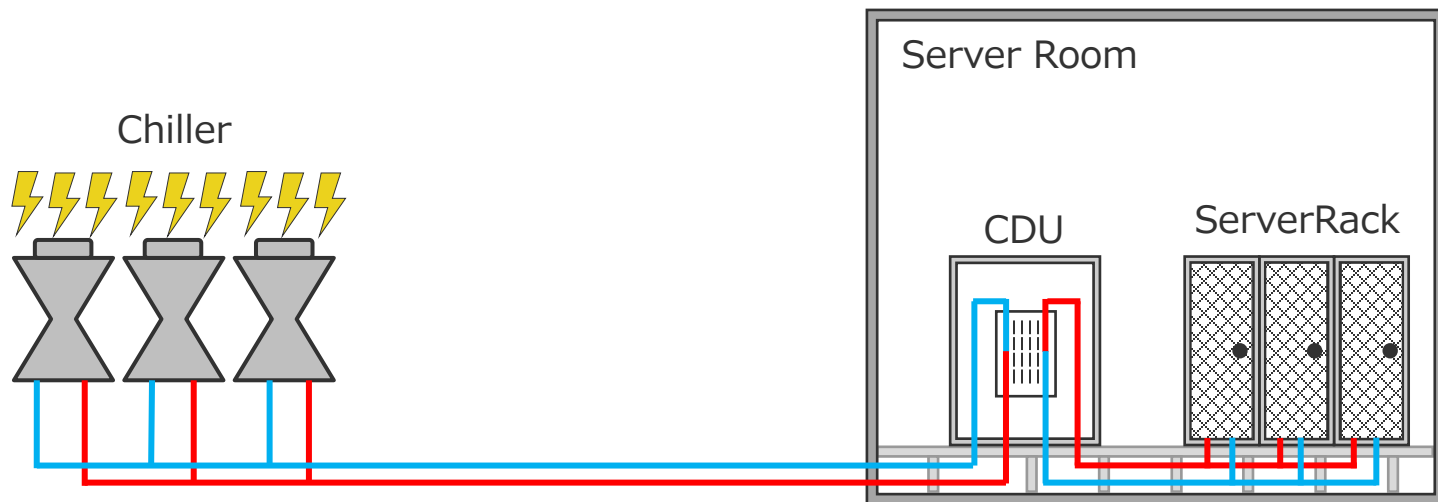


図3.1.2-1：チラー単体での冷却構成

- 常にチラーの機能を用いて冷媒を冷却
- 常に低い温度の冷媒を供給する必要がある場合は有効
- ※常に15℃の冷媒を供給するケース等

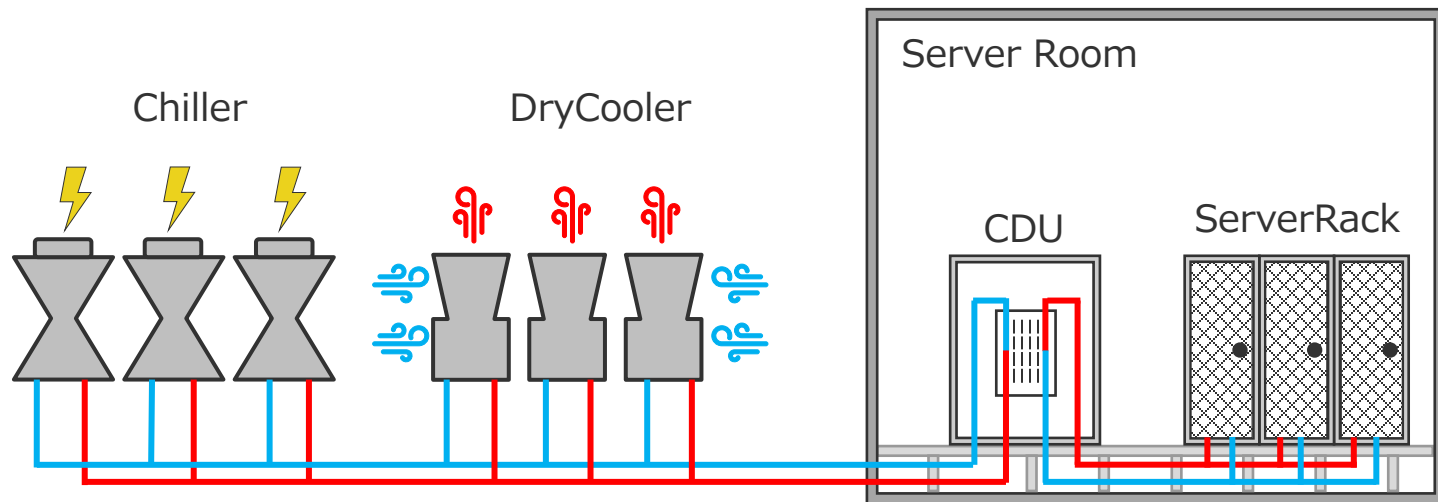


図3.1.2-2：外気を活用した冷却

- ドライクーラーを活用し、外気を用いて冷媒を冷却
- 冷媒の温度を高く設定することで、外気を活用できる期間が長くなり、省エネ性向上につながる
- 外気温が高い場合や、冷媒の温度を下げたい場合などは必要に応じてチラーを利用する

3.1.3 水質管理

液冷対応のデータセンターを設計するにあたり、冷媒の水質管理も非常に重要な要素です。
適切な水質を維持せずに運用を続けていると配管内で腐食が発生し、最終的には配管内（フィルタ）の詰まりや熱交換効率の悪化につながります。

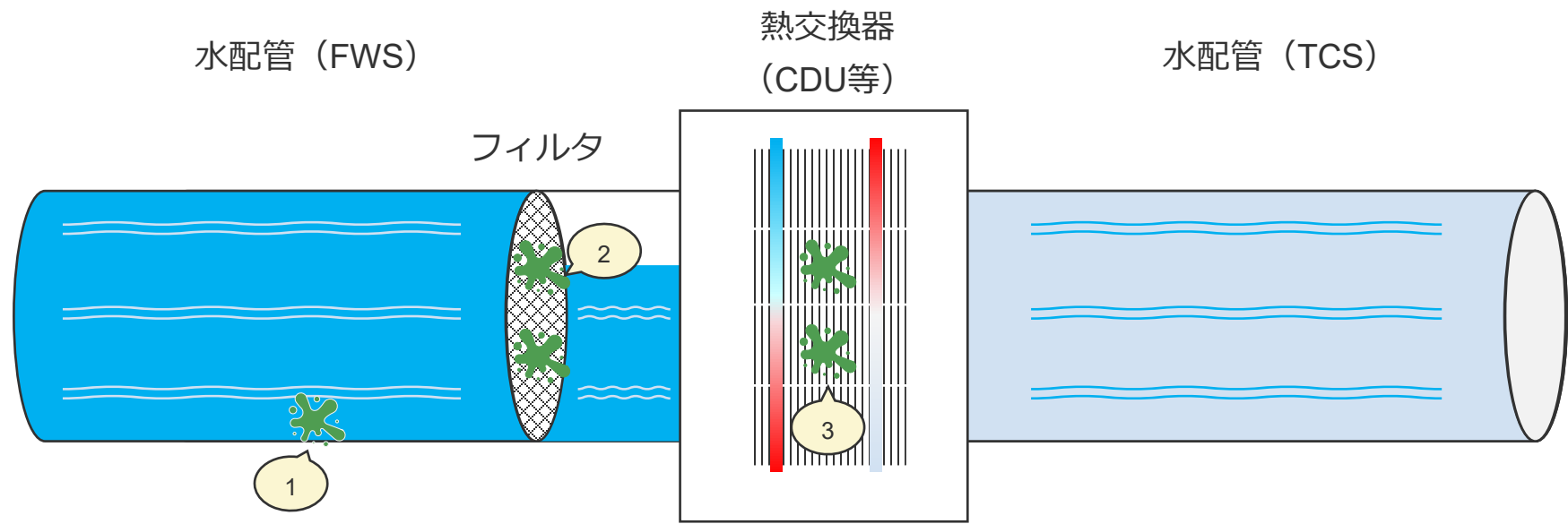


図3.1.3-1：水配管での腐食例

1	水配管内に不純物（スライム等）が生成・付着し、圧力や流量低下、ポンプの過負荷につながります
2	水配管内で生成された不純物がフィルタに詰まり、圧力や流量の低下、ポンプの過負荷につながります
3	熱交換部分に不純物が生成・付着し、熱交換率の悪化やそれに伴う2次側冷媒の温度上昇やポンプ過負荷につながります

3.1.3 水質管理

液冷対応における水質管理については、主にCDUやサーバ機器側等で要求事項として定められることが多く、その水質基準についてはASHRAEガイドラインに記載されている項目等が参考になります。

日本国内では日本冷凍空調工業会にて冷凍空調機器用冷却水水質基準にてチラー等に用いる水質基準を定めています。

表3.1.3-1 ASHRAE Water Quality Guidelines for the FWS and TCS

項目	FWS	TCS
水素イオン濃度（pH）	7to9	8.0to9.5
腐食防止剤 （Corrosion inhibitor）	Required	Required
殺生物剤（Biocide）	—	Required
硫化物（Sulfide）	<10ppm	<1ppm
硫酸塩（Sulfate）	<100ppm	<10ppm
塩化物（Chloride）	<50ppm	<5ppm
細菌（Bacteria）	<1000CFUs/mL	<100CFUs/mL
硬度（Total hardness）	<200ppm	<20ppm
電気伝導率（Conductivity）	—	0.2to20micromho/cm
全懸濁物質 （Total suspended solids）	—	<3ppm
蒸発残留物 （Residue after evaporation）	<500ppm	<50ppm
濁度（Turbidity）	<20NTU(Nephelometric)	<20NTU(Nephelometric)

引用：「Water-Cooled Servers Common Designs, Components, and Processes（PDF）」（ASHRAE、2019）

3.1.3 水質管理

表3.1.3-2 日本冷凍空調工業会標準規格 冷凍空調機器用冷却水水質基準

	項目	冷却水系(クーリングタワー系)			冷水系 (チラー系)		温水系				傾向	
		循環式		一過式			低位中温水系		高位中温水系		腐食	スケール
		循環水	補給水	一過水	循環水 [20℃以下]	補給水	循環水 [20℃を 超え60℃ 以下]	補給水	循環水 [60℃を 超え90℃ 以下]	補給水		
基本項目	pH(25℃)	6.5～8.2	6.0～8.0	6.8～8.0	6.8～8.0	6.8～8.0	7.0～8.0	7.0～8.0	7.0～8.0	7.0～8.0	○	○
	電気伝導率 (mSm)(25℃) {μS/cm} (25℃)	80以下 {800以下 }	30以下 {300以下 }	40以下 {400以下 }	40以下 {400以下 }	30以下 {300以下 }	30以下 {300以下 }	30以下 {300以下 }	30以下 {300以下 }	30以下 {300以下 }	○	○
	塩化物イオン(mgCl ⁻ /L)	200以下	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下	30以下	30以下	○	
	硫酸イオン	200以下	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下	30以下	30以下	○	
	酸消費量(4.8) (mgCaCO ₃ /L)	100以下	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下		○
	全硬度(mgCaCO ₃ /L)	200以下	70以下	70以下	70以下	70以下	70以下	70以下	70以下	70以下		○
	カルシウム硬度 (mgCaCO ₃ /L)	150以下	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下	50以下		○
	イオン状シリカ (mgSiO ₂ /L)	50以下	30以下	30以下	30以下	30以下	30以下	30以下	30以下	30以下		○

引用：「社団法人 日本冷凍空調工業会 冷凍空調機用水質ガイドライン 冷却水・冷水・温水・補給水の水質基準」 (JRA-GL02:1994)

3.1.3 水質管理

水質管理においては使用する冷媒の水質調査を行い、管理する水質基準に適合しているかを確認します。

適合していない項目があれば、項目に対応した水質改善を行います。

※水質調査は基準項目を事前に定め、その内容が分かるように行うこと

- 防食抑制剤

ASHRAEのガイドラインにてFWS/TCSともに【Required（必須）】と記載されていますが、日本国内で通常の水道水等から水を供給する場合は防食抑制剤や類似の薬剤が注入されていることは原則ありません。

そのため、ASHRAEのガイドラインに従う場合は、新たに防食抑制剤を注入する必要があります。

具体的な薬剤については、各機器のメーカー等で指定があればそれに従うことが推奨されますが、指定がない場合は個別検討を行う必要があります。

防食抑制剤にも主成分が様々存在するため、配管やホース等の母体を把握し、専門機関へ相談することを推奨します。

例えば、OCP(Open Compute Project)が定めているガイドラインではアゾール系の防食抑制剤が推奨されていますが、これは銅系の母体に適合しやすい成分です。

そのため、コールドプレート等へは適していると言えますが、SUS系の配管などではモリブデン系が適している場合があります。

※OCPガイドライン：Guidelines for Using Water-Based Transfer Fluids in Single-Phase Cold Plate-Based Liquid-Cooled Racks(OCP)

- PG25(propylene glycol25%)

コールドプレートへ供給される冷媒としてよく用いられる冷媒に【PG25】があります。

これは腐食抑制や凍結防止の観点で優れており、一般的な水道水と容積比熱が大きく差がない（5～10%程度容積比熱が落ちる）ことが特徴として挙げられます。

PG25についても水質管理が重要となり、昨今ではpropylene glycolの濃度が下がると腐食防止性能等が大きく下がることが発信されているため、定期的な濃度測定などを行う必要があります。

閉ループ構成で運用をしていますが、長期間使用していると濃度が低下する可能性はあるため注意が必要です。

現在では水質を監視する機器や規定のパラメータから外れると薬剤を自動で注入する機器が発売されているため、運用負荷削減の観点から導入をしても良いと思われます。

3.1.4 冷媒の温度・流量・圧力

冷媒を管理するための基本的パラメータとして、「温度」「流量」「圧力（圧力損失）」の3点があります。

- 温度（液体温度）
 - コールドプレートで冷却する対象（GPUチップ等）を何℃まで冷却するか設計に大きく影響します
 - 省エネ性を追求すると、項目3.1.2で示したような構成を用いたり、供給する水温を高く設定するなどして、熱源の消費電力をなるべく抑えるなどの方法をとります
 - ASHRAEでは熱源から送水する温度を6つのクラスに分けてガイドラインに記載しています。
 - W17 : 17℃
 - W27 : 27℃
 - W32 : 32℃
 - W40 : 40℃
 - W45 : 45℃
 - W+ : >45℃
 - 熱源からの送水温度 = コールドプレートへ供給水温、ではない
 - 熱源からコールドプレートへ供給されるまでの間（距離）で温度が変動
 - CDU等の熱交換において温度が上昇
 - 特に、CDUの熱交換では最低でも2次側で5℃前後の上昇が生じ、これはCDUの Approach Temperature(AT)の値で決まる※ATの値はCDUによって異なる
 - 供給水温についてはシステム全体の冷却性能や省エネ性などを総合的に考えて決定することが重要です

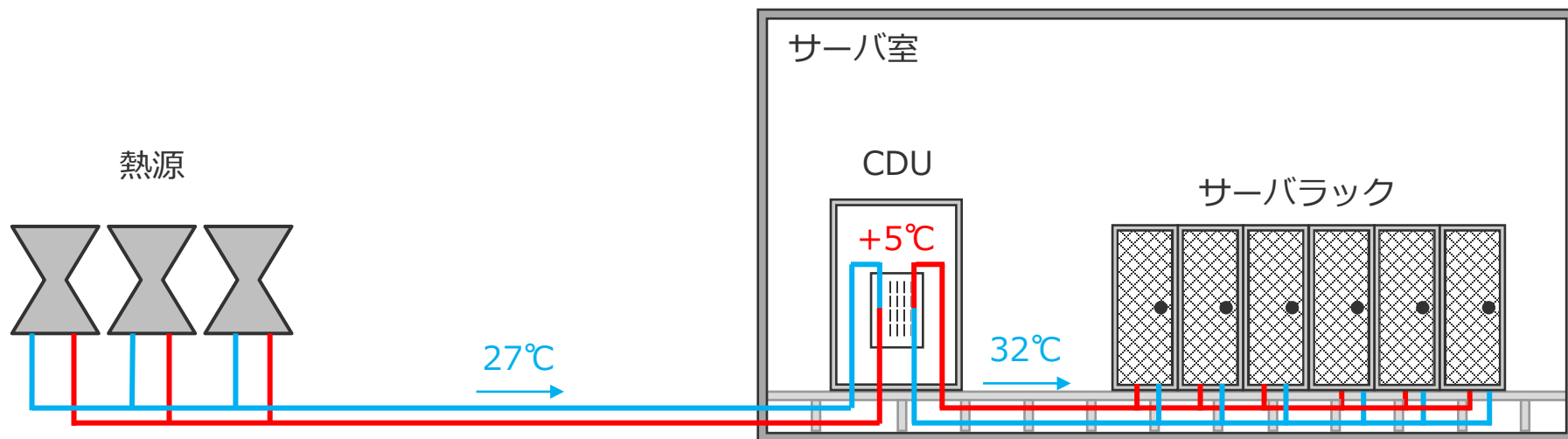


図3.1.4-1：温度上昇の例

3.1.4 冷媒の温度・流量・圧力

- 流量(L/min)
 - CDU等の熱交換率に大きく影響します
 - 冷却熱量に対して流量が不足すると Δt （出口温度-入口温度の値）が増加し、最悪のケースとして熱源側で目標水温まで冷却しきれない可能性があります
 - 流量を増加させれば Δt を低減させることが可能ですが、以下のような影響が生じます
 - 動力（ポンプ回転数など）の増加による電力増加および過負荷への懸念
 - 流速の増加による配管摩耗や圧力損失の増加
 - 圧力損失増加等を防ぐためには配管サイズを増加させる必要があるが、コストやスペース、CDUの仕様等で困難
 - 設計時には必要な流量、動力、流速、圧力損失、配管サイズ、 Δt 等を総合的に考えることが重要です
- 圧力、圧力損失
 - 流量に必要な圧力を確保するために必要なパラメータです（流量の重要性は上記に記載）
 - 圧力損失は配管サイズ、流速、配管構成、などで生じるパラメータであり、圧力低下につながります
 - 配管の部品であるエルボや、バルブなどを通して圧力損失が発生します
 - 配管そのものの仕様でも圧力損失の値は増減し、主に流速、配管内径、配管長が影響を与えます
 - 特に流速は大きく影響し、圧力損失は流速の2乗に比例するため注意が必要です
※ダルシー・ワイスバッハの式を参照

3.2 Coolant Distribution Unit (CDU)

3.2.1 CDUの種類と選定

CDUは大きく2種類に分かれ、インロー型とインラック型があります。

どちらのCDUにも熱交換器、ポンプ、制御ユニット、フィルタ等が内蔵されており、各CDUの1次側と2次側冷却液を熱交換して適切な水温や流量で送り出す役割を持っています。

その他の主な役割としては、以下の通りです。

- 適切な水温や流量で送水するための制御（水温制御、流量制御、差圧制御）
- 内部に備えたフィルタで循環している液体の不純物を取り除く
- 1次側と2次側で分界点を設ける
- 各種パラメータの監視とアラート発報

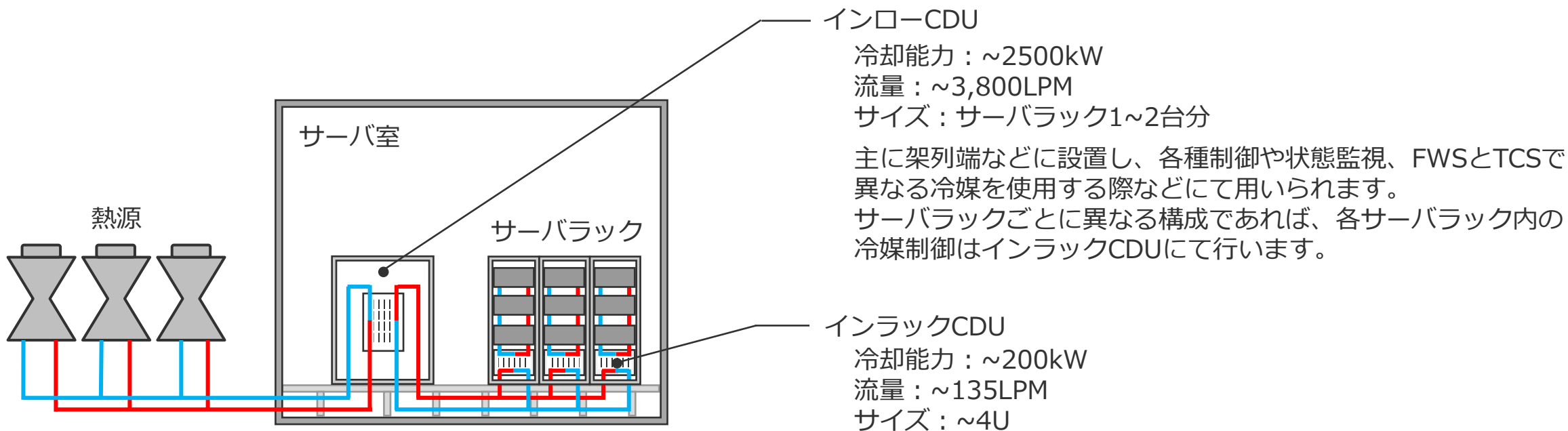


図3.2.1-1：CDUの構成例

3.2.2 インローCDUの特長

図3.1.1-1に記載した通り、インローCDUはサーバラック1~2台程度の大きさがあり、高性能なポンプを内蔵しているため、非常に高い冷却能力を保有しています。また、CDU同士で最適な制御を行うコントロールシステムや水質を監視するオプションを設けている場合があります。

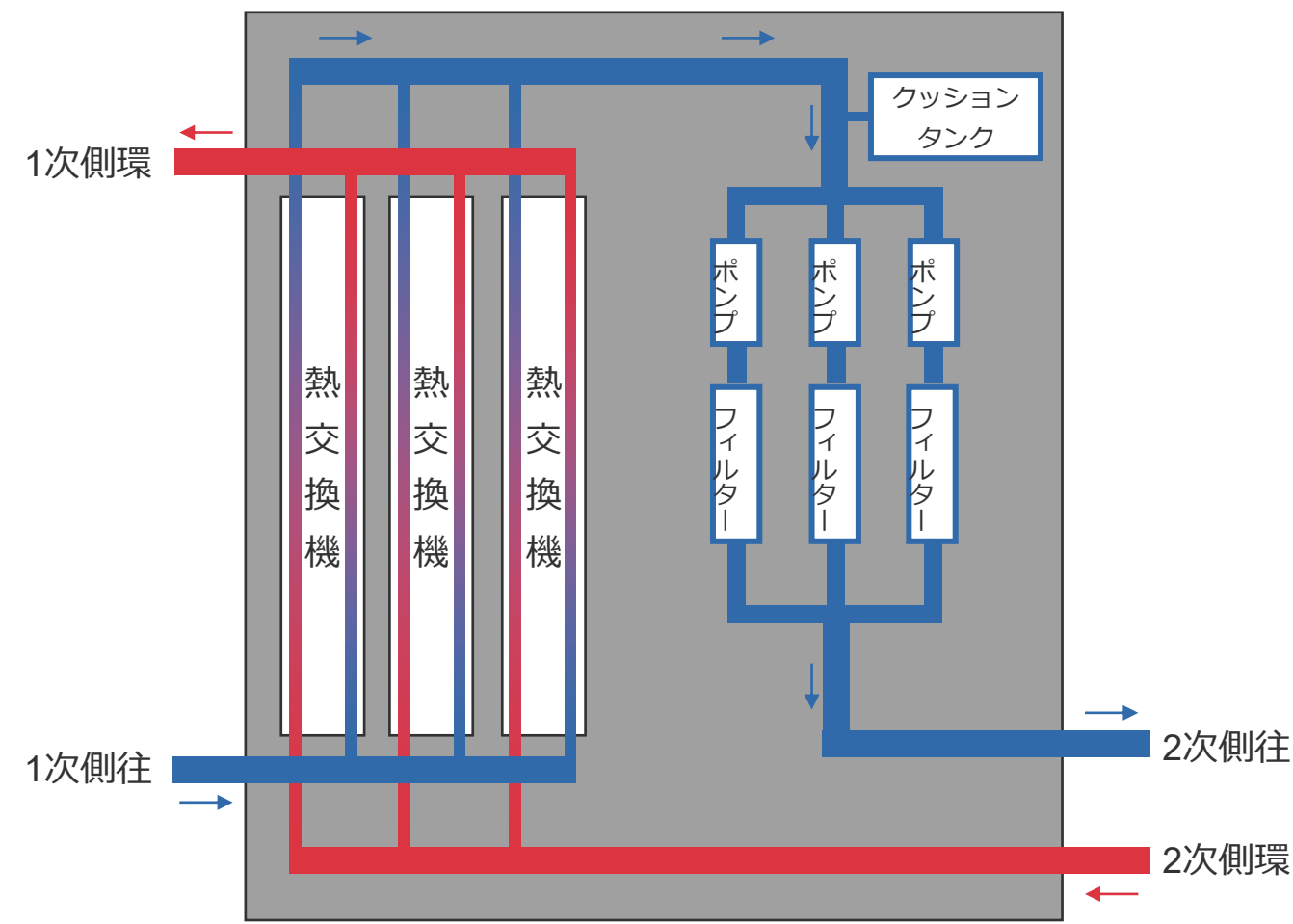


図3.2.2-1：インロー型CDUの内部構成例

表3.2.1-1：インローCDUのスペック例

冷却能力	~2,000kW/台
主要部品	- 水配管 - ポンプ - 熱交換器 - フィルタ - クッションタンク - バッファタンク - 各種センサー - 制御ユニット
冗長性	ポンプ、フィルタ、電源系統はN+1構成
配管	ステンレス製（3~5in）
監視項目	水温、流量、圧力、ポンプ回転数、電力関係、等
プロトコル	ModbusRTU、ModbusTCP/IP、SNMP
電源	三相380-480V

※メーカー、品番ごとに詳細仕様が異なります

3.2.3 インラックCDUの特長

図3.1.2に記載した通り、インラックCDUはサーバラックにマウントして設置して運用します。内部の機構としては概ねインロー型CDUと同等ですが、冷却能力はサーバラック単位まで縮小されています。

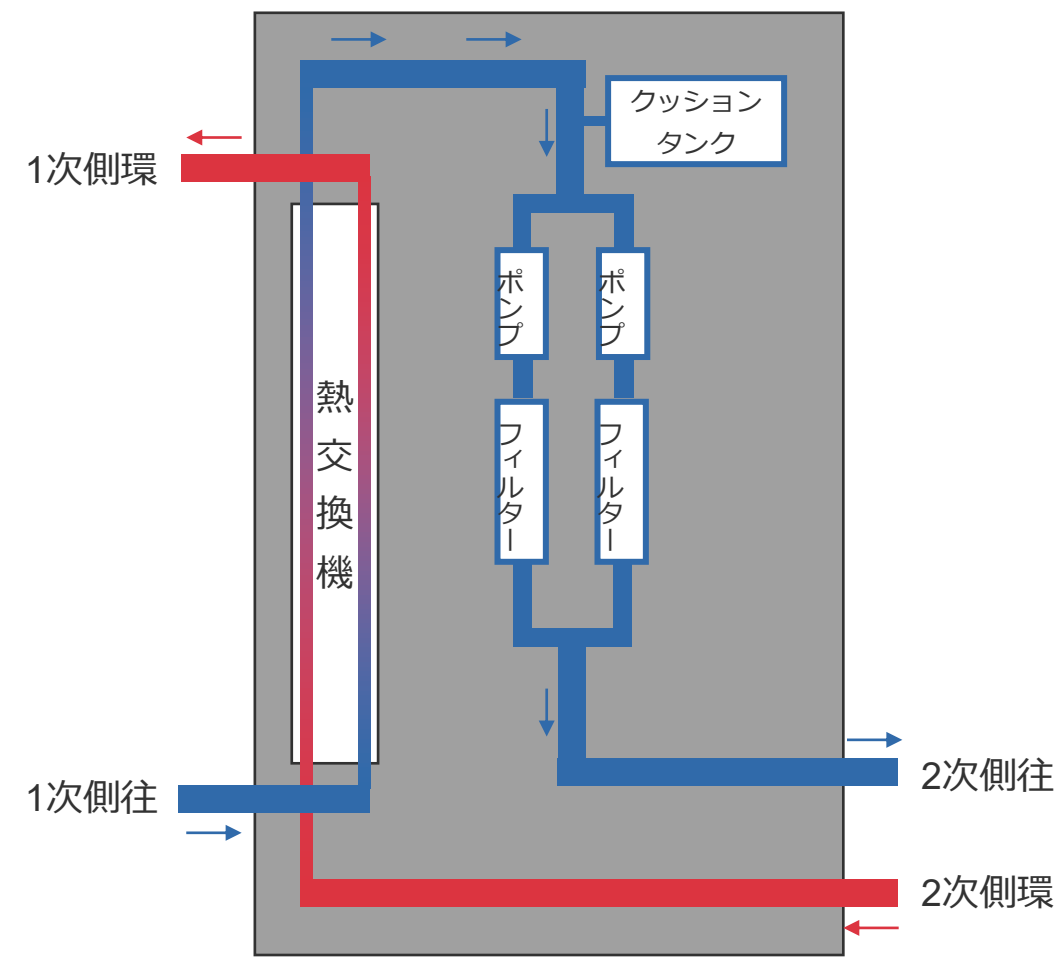


図3.2.3-1：インラック型CDUの内部構成例

表3.2.1-1：インラックCDUのスペック例

冷却能力	~200kW/台
主要部品	- 水配管 - ポンプ - 熱交換器 - フィルタ - クッションタンク - バッファタンク - 各種センサー - 制御ユニット
冗長性	ポンプ、フィルタ、電源系統はN+1構成
配管	ステンレス製（1.5~2in）
監視項目	水温、流量、圧力、ポンプ回転数、電力関係、等
プロトコル	ModbusRTU、ModbusTCP/IP、SNMP
電源	単相200V

※メーカー、品番ごとに詳細仕様が異なります

3.3 配管構成

3.3.1 サーバ室内水配管の設計

液冷設備導入にあたり、サーバ室内の水配管設計は非常に重要なポイントとなります。
サーバ室に敷設する水配管は主に熱源から敷設される水配管、架列周辺に敷設する幹線部分、サーバラックへ引き込むための分岐部分に別れます。

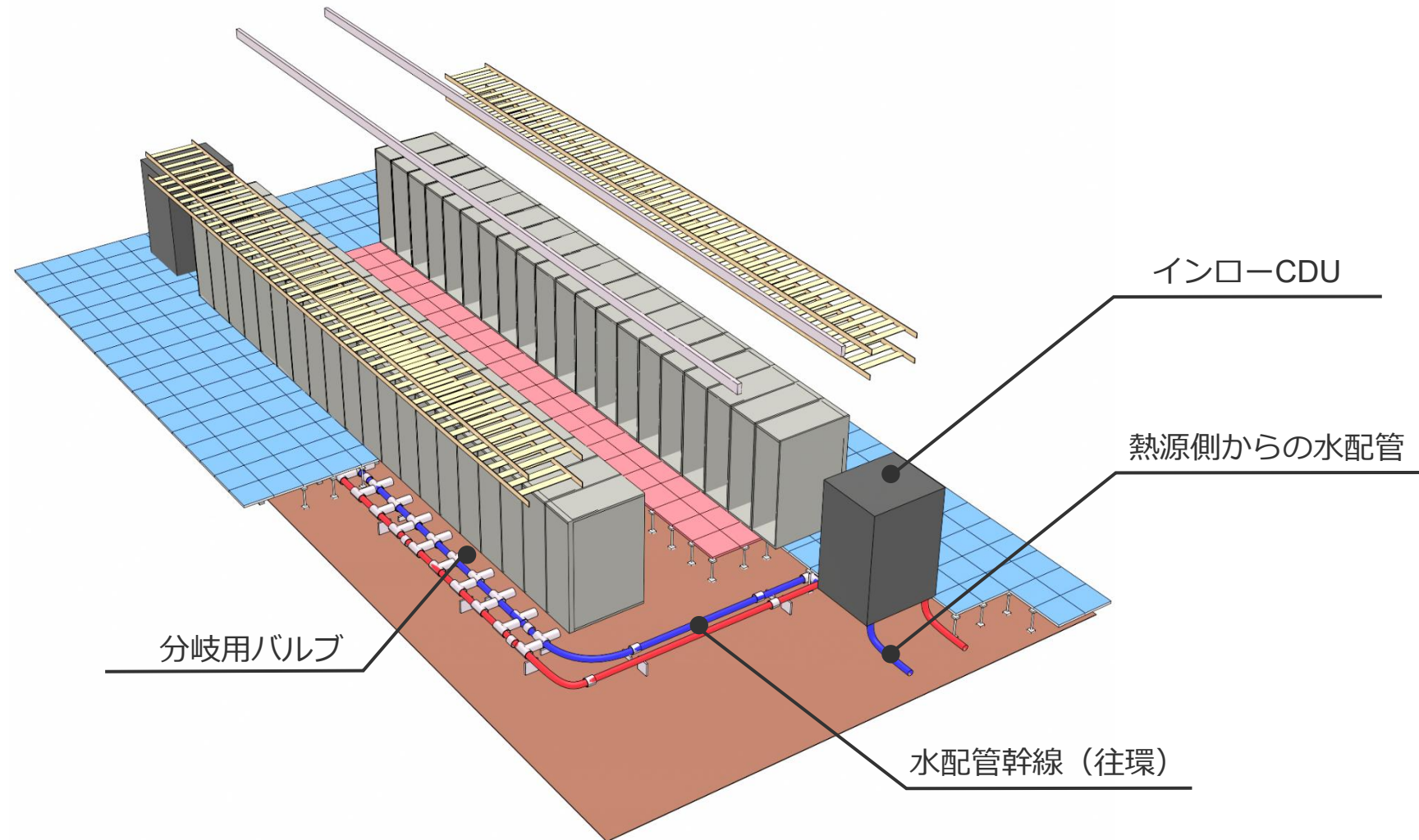


図3.3.1-1：サーバ室内機器配置レイアウト

3.3.1 サーバ室内水配管の設計

- 熱源からの水配管

熱源からサーバ室へ敷設される水配管は基本的には住環でそれぞれ1系統ずつ敷設されます。

インローCDU本体や配管本数で冗長性を確保する場合は、A系/B系でそれぞれ2系統ずつ敷設されます。

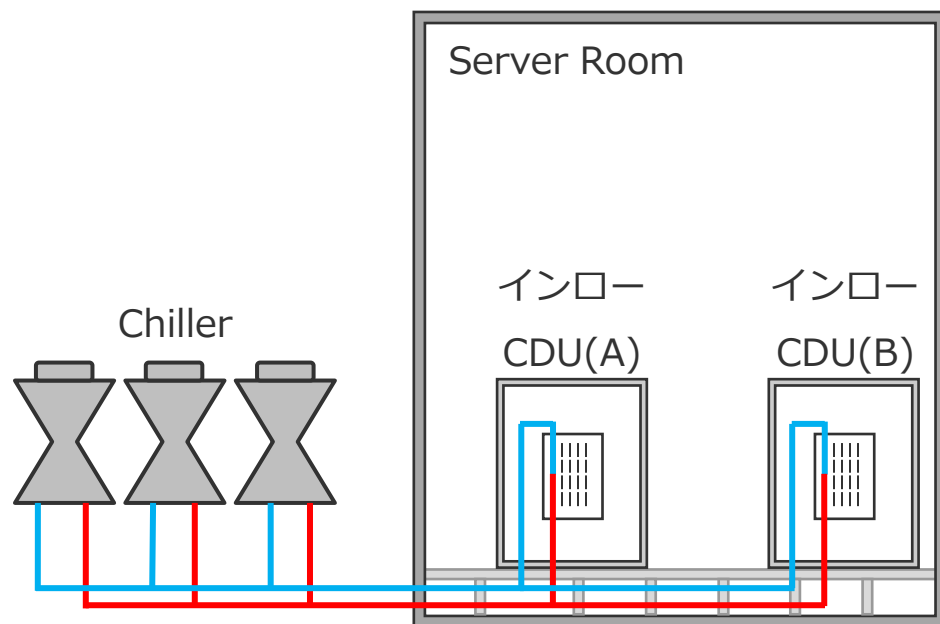


図3.3.1-2：インローCDU冗長構成例

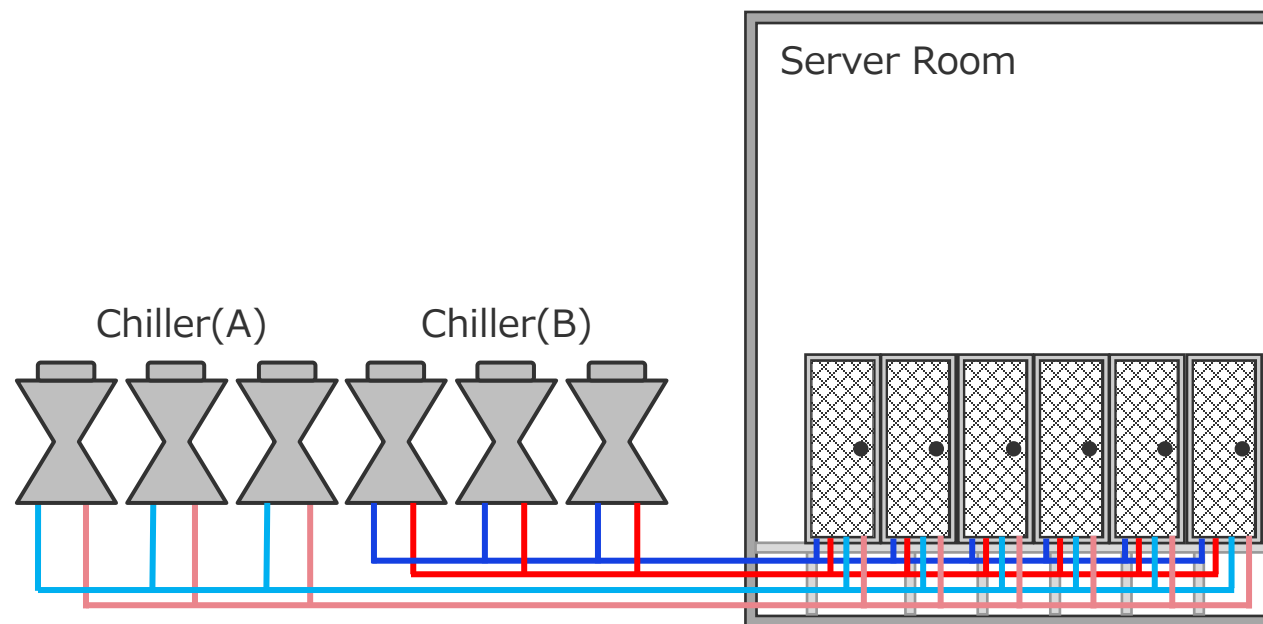


図3.3.1-3：水配管冗長構成例

熱源からの水配管については数百キロワットから数千キロワットを冷却するための冷媒が流れるため、4インチ～10インチ程のサイズとなることがあります。※冷却能力や流量等で配管サイズは前後します

また、水配管各所には保温剤が巻かれたり、設置するための鋼材、バルブ等が設置されるため、配管の外径寸法以上にスペースや重量が必要となるため、より一層の注意が必要です。

また、本システムで使用する冷媒は日本冷凍空調工業会標準規格やASHRAEで定められている水質基準を満たしたものが推奨されますが、各CDUの要求事項を満たすことも重要です。

冗長化については4.3.2を参照し、冗長性、スペース、コスト等の観点から構成検討を行うことが重要です。

3.3.1 サーバ室内水配管の設計

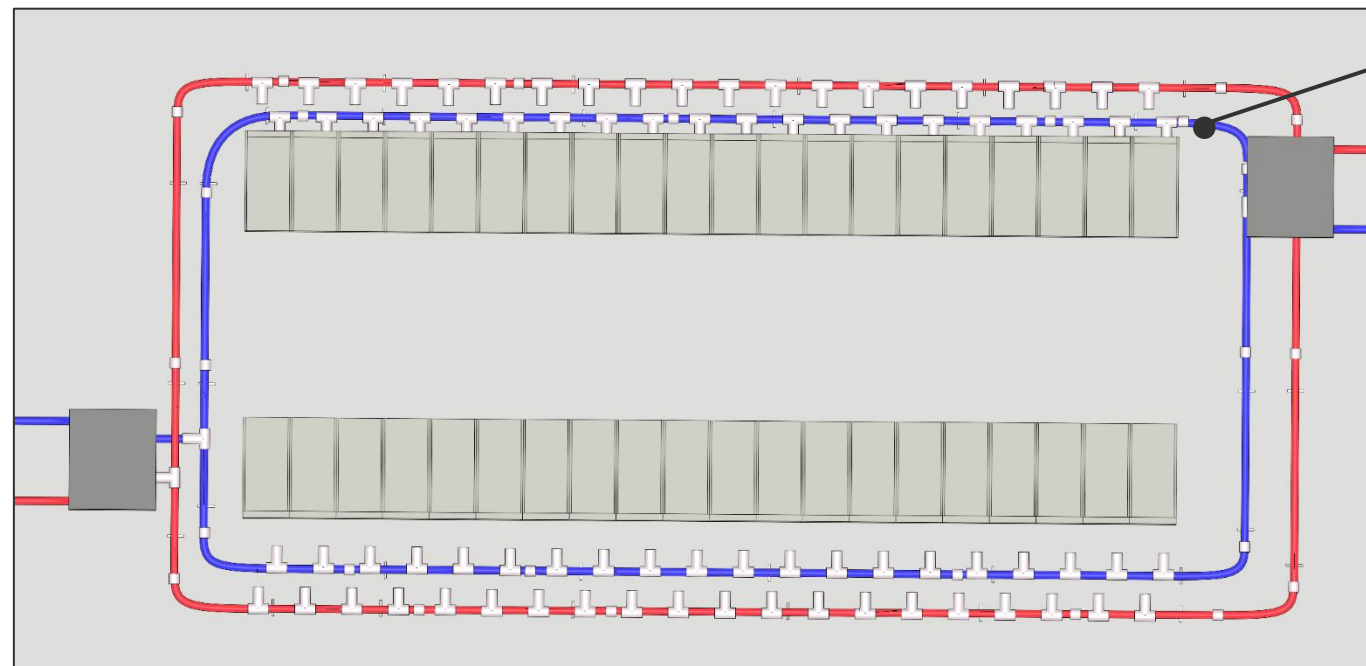
- サーバ室内の水配管

サーバ室内の水配管は主にサーバラック周辺に敷設され、分岐口を用意してサーバラックへ引き込みます。
大まかなイメージは項目4.2.2を参照してください。

冗長性については前頁と同様の考え方ですが、サーバ室内での敷設はよりスペースが厳しくなるため、A系／B系の2系統を用意する難易度が非常に高くなります。

そのため、昨今のデータセンターでは冗長化なし、もしくはループ構成で冗長化を確保するケースがよく見られます。

また、サーバラックへ分岐する箇所についてもサーバラックから伸びるホースと接続できるように準備しておく必要があります。



サーバ室内水配管

- サーバ室内の配管については概ね4~10インチサイズが敷設されます
- 敷設スペース、コスト、冗長性の観点でサーバ室内の配管はループ構成としています
- 配管の冗長性については、CDUの配管接続口が1系統しかないため、ここは必ずシングルポイントとなります
※サーバラック単位で冗長性を確保したり、CDU機器を複数用意し冗長性を確保することは可能だが、コストが大きく増えます

図3.3.1-4：配管レイアウト例（平面）

3.3.1 サーバ室内水配管の設計

- サーバラック引き込みへの分岐
幹線からサーバラックへ分岐するために、分岐口やバルブを用意する必要があります。
サーバラック（インラックCDU）から敷設される配管（ホース）と接続できるように設計を行うことも重要です。

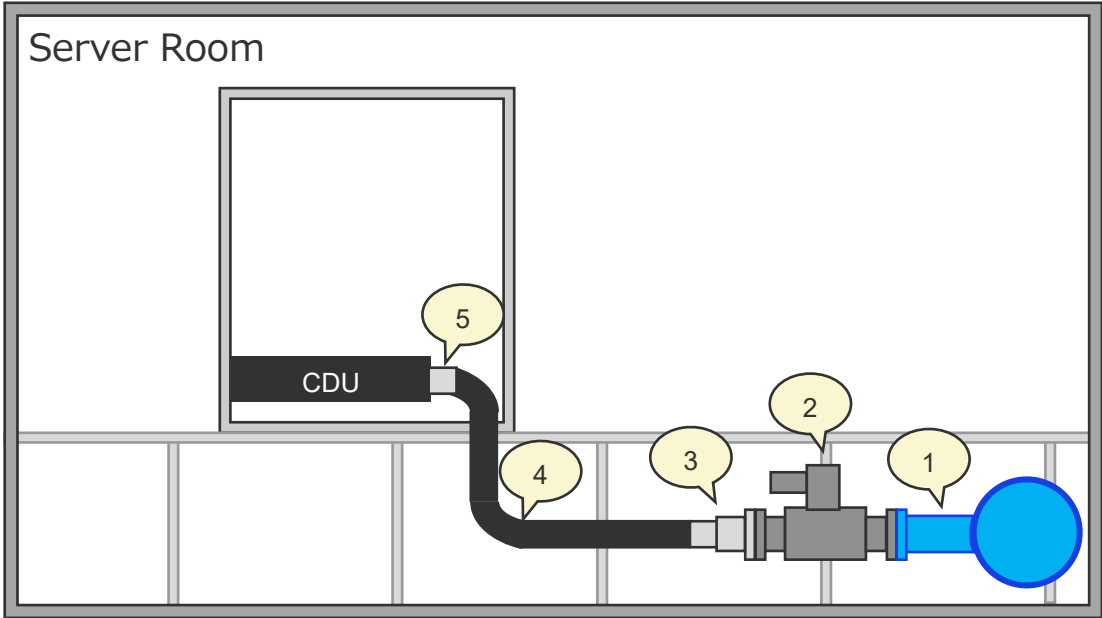


図3.3.1-5：引き込み配管例

※図3.3.1-5の構成は一例のため、適宜必要な継手等を取捨選択してください

※図3.3.1-5は往きの系統のみ記載しておりますので、還りの系統も同様に準備する必要があります

番号	内容
①	幹線から分岐された配管 サイズは最終的に接続するインラックCDU等に合わせて1~2インチサイズがよい 接続形状は前後の設備に合わせる必要がありますが、特に指定がない場合は汎用性を重視したサニタリーフランジや平行ねじ等を使用するとよい
②	バルブ（ボールバルブ／バタフライバルブ） 基本的にはここまでデータセンター事業者で用意しておき、サーバラックの設置が決まり次第、以降の工事を適宜実施する 接続形状は①と同等の考え方
③	ホースの接続コネクタに合わせたカップリング 指定のコネクタがあればそのソケットを用意する（CGB20、FD83等）
④	ホース本体 主にCDUとセットで納品されることが多く、Danfoss社やParker社の製品がよく用いられる
⑤	ホースとCDUの接続コネクタ データセンター事業者側でホースおよびコネクタを用意する場合は、CDU側のコネクタ仕様に合わせるか、CDU側（ユーザ側）にコネクタを合わせてもらう調整を実施する

3.3.2 配管の比較

ここまでで、それぞれの使用箇所に応じた配管の仕様・設計について記載をしました。
以下にFWSとTCSで使用する配管について比較表を記載いたします。

敷設場所	敷設系統	主に使用される材質	配管内径（呼び径）	冷媒
FWS	熱源～インローCDU	・ ステンレス (SUS304,SUS316) ・ 真鍮 ・ 炭素鋼	4インチ～10インチ	・ ASHRAE準拠（表3.1.3-1参照） ・ 日本冷凍空調工業会準拠（表3.1.3-2参照）
TCS	インローCDU～サーバラック分岐口	・ ステンレス	4インチ～5インチ	・ ASHRAE準拠（表3.1.3-1参照） ・ PG25
	サーバラック分岐口～インラックCDU	・ ステンレス ・ ホース（EPDM）	3/4インチ～2インチ	・ ASHRAE準拠（表3.1.3-1参照） ・ PG25

※配管・冷媒の仕様は詳細検討にて決定してください

3.4 監視・制御システム

3.4.1 CDUの制御機能

項目3.2.1にて記載した通り、CDUには冷媒の循環を適切に行い、IT機器を適切に冷却するための制御機能が備わっています。

メーカーの各製品で詳細は異なりますが、温度、流量、圧力による制御機能を持ちます。

多くは、2次側往系統の水温・流量の目標値を設定し、2次側定流量制御もしくは2次側差圧制御にてコントロールします。

※詳細は各社CDUの仕様に準じます

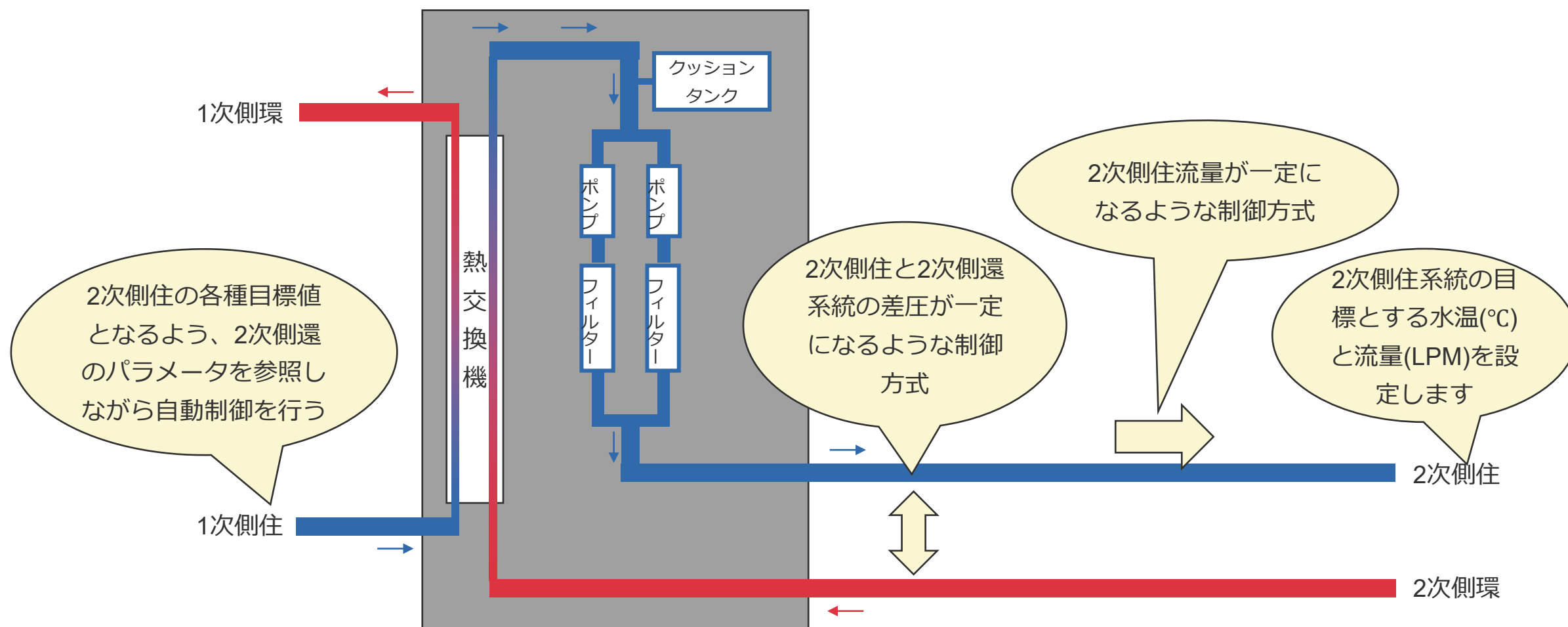


図3.4.1-1 : CDUの内部構成例

3.4.2 中央監視システムとの連携

各所に配置したセンサーやCDUのパラメータ、アラートの発報などを必要に応じて中央監視システムと連携します。

中央監視システムとの連携は従来と大きく差異はなく、Modbus RTU(/TCP)やSNMPのプロトコルを用いて連携します。

また、多くのCDUにはModbus RTU(/TCP)やSNMPのプロトコルが用意されており、インターフェースもEthernet等が用意されています。CDUはEthernetを介して遠隔での制御を行うことも可能です。 ※詳細はCDUの仕様によります

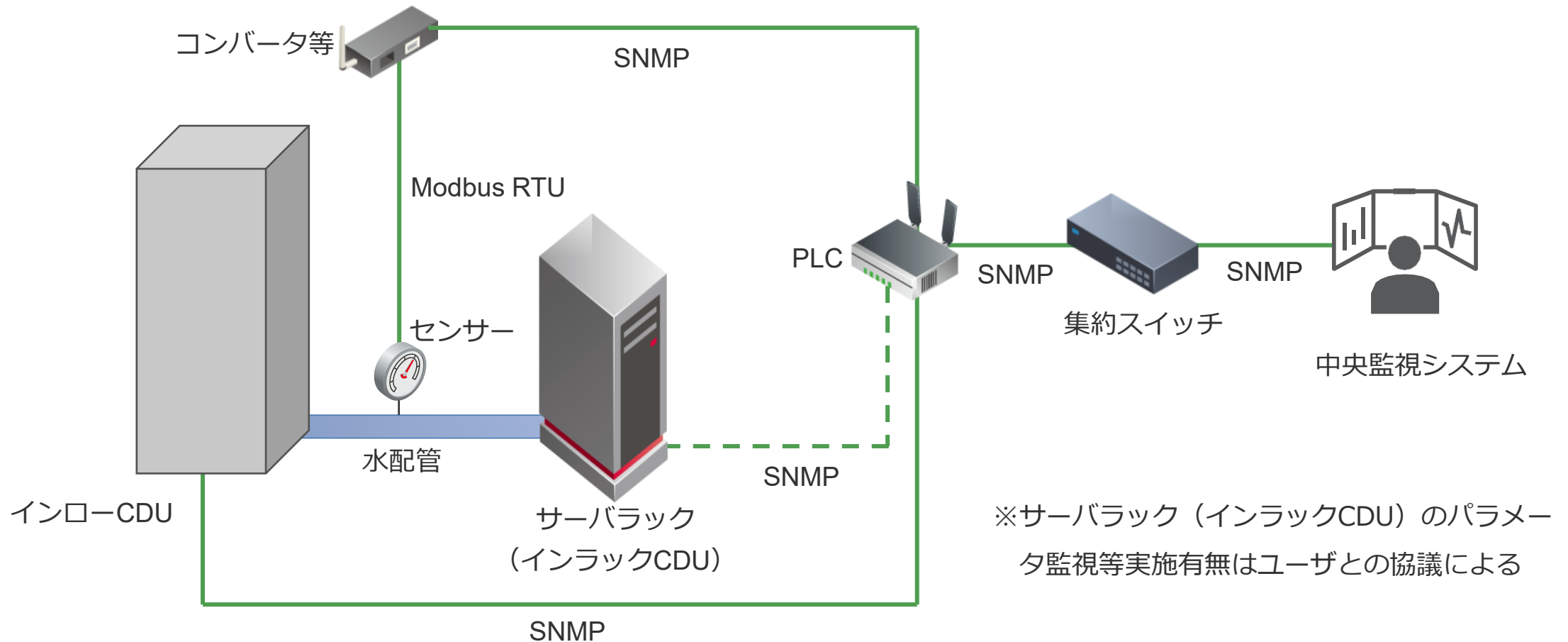


図3.4.2-1：監視システム構成例

3.5 電力供給システム

3.5.1 液冷機器の電力負荷と供給計画

液冷設備のサーバラック電力については従来の空冷用サーバラックから大きく向上し、数倍～数十倍の電力を必要とします。それに伴い、サーバ室内を敷設するバスダクトやサーバラック内への配電プランなどが変化します。

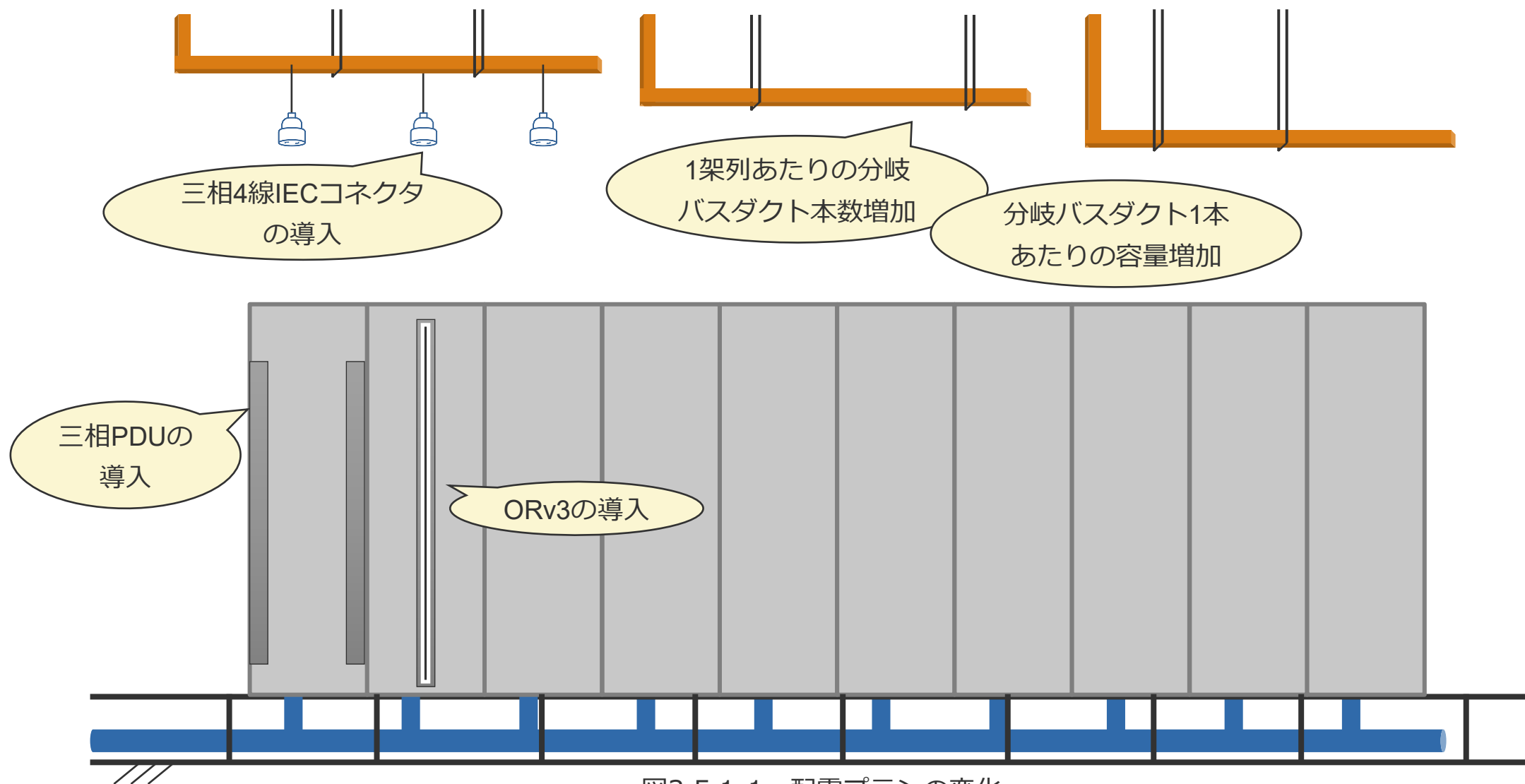
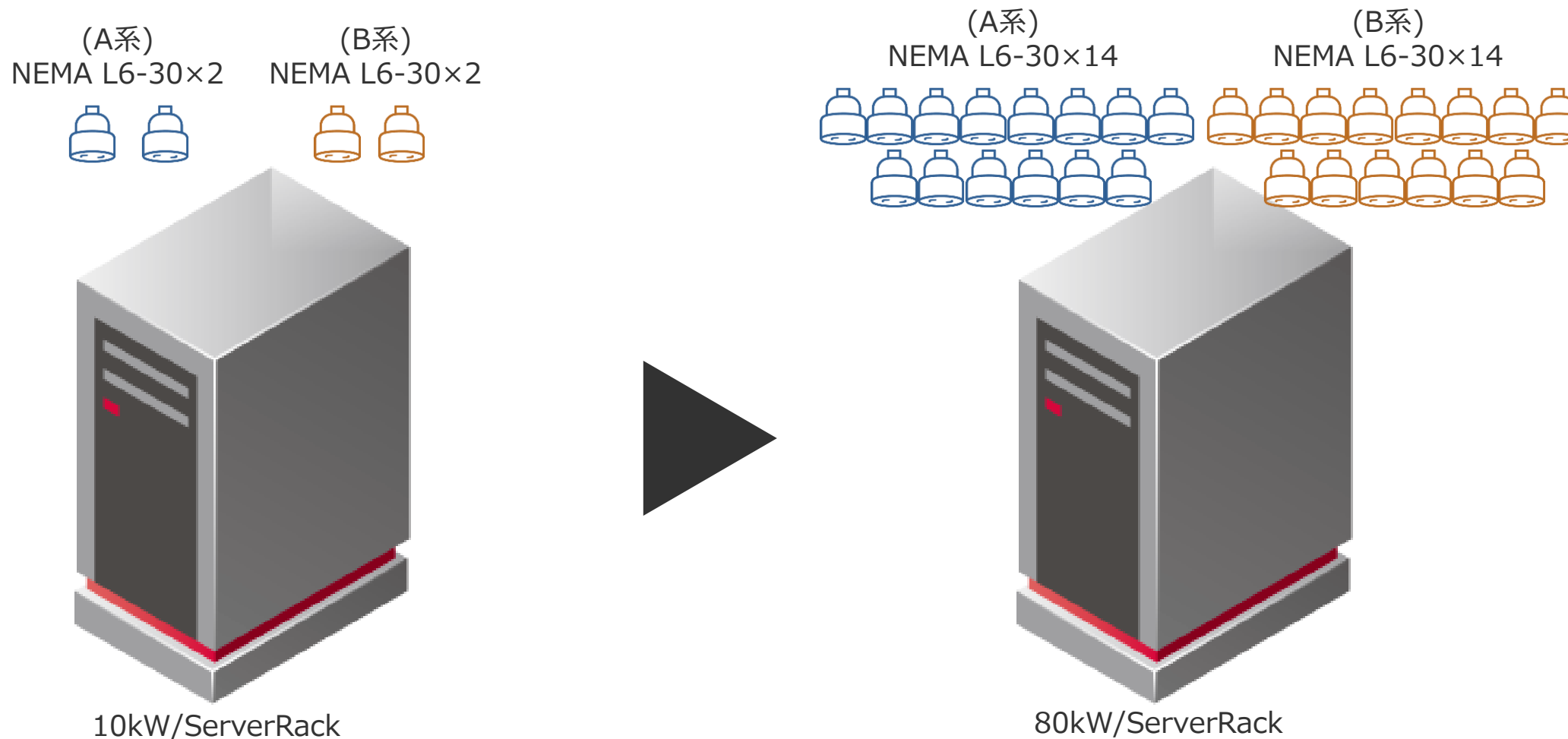


図3.5.1-1 : 配電プランの変化

3.5.1 液冷機器の電力負荷と供給計画

液冷設備のサーバラック電力については従来の空冷用サーバラックから大きく向上し、数倍～数十倍の電力を必要とします。
例えば、サーバラックあたり80kWの電力を必要としたとき、従来と同じような考え方をすると以下のような構成となります。



80kW/ServerRackではA系/B系合わせて約28本のコネクタとPDUが必要となります。
配置スペースや効率性の観点からとても現実的ではないため、別のプランを用いる必要があります。

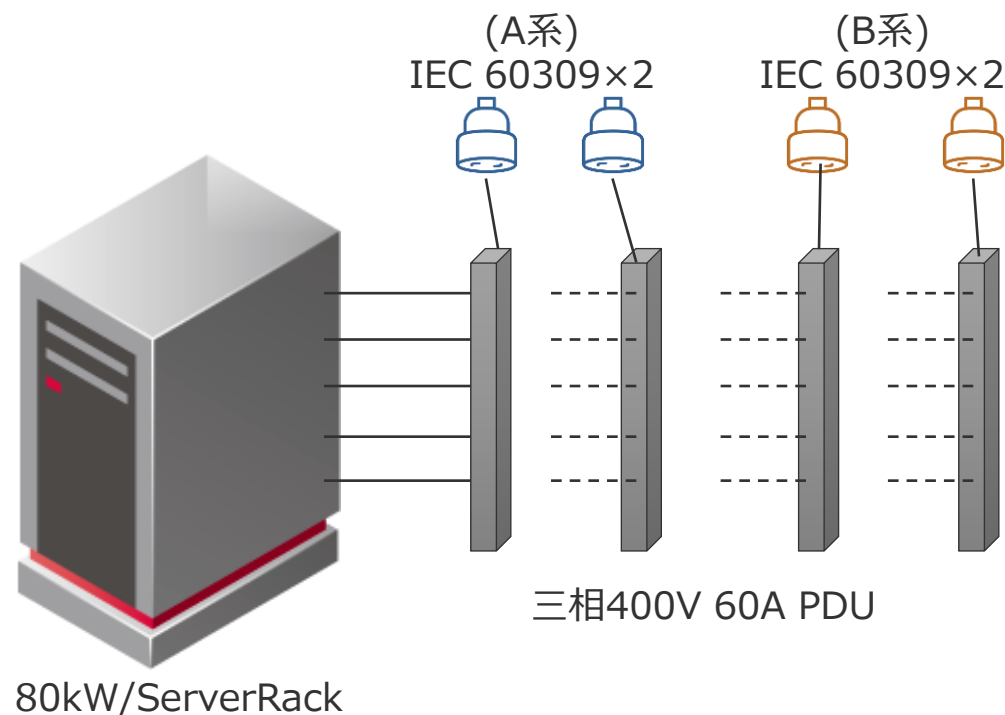
3.5.1 液冷機器の電力負荷と供給計画

サーバラックへの配電については、以下の2通りが主流となっています。
どちらの場合でも、従来の単相200Vでの配電ではなく三相400Vなどを用いることが主流となります。

三相PDUの実装

従来では単相200VのPDUを用いていましたが、PDUあたりの容量を増やすため三相400V等のPDUを導入するケースです。

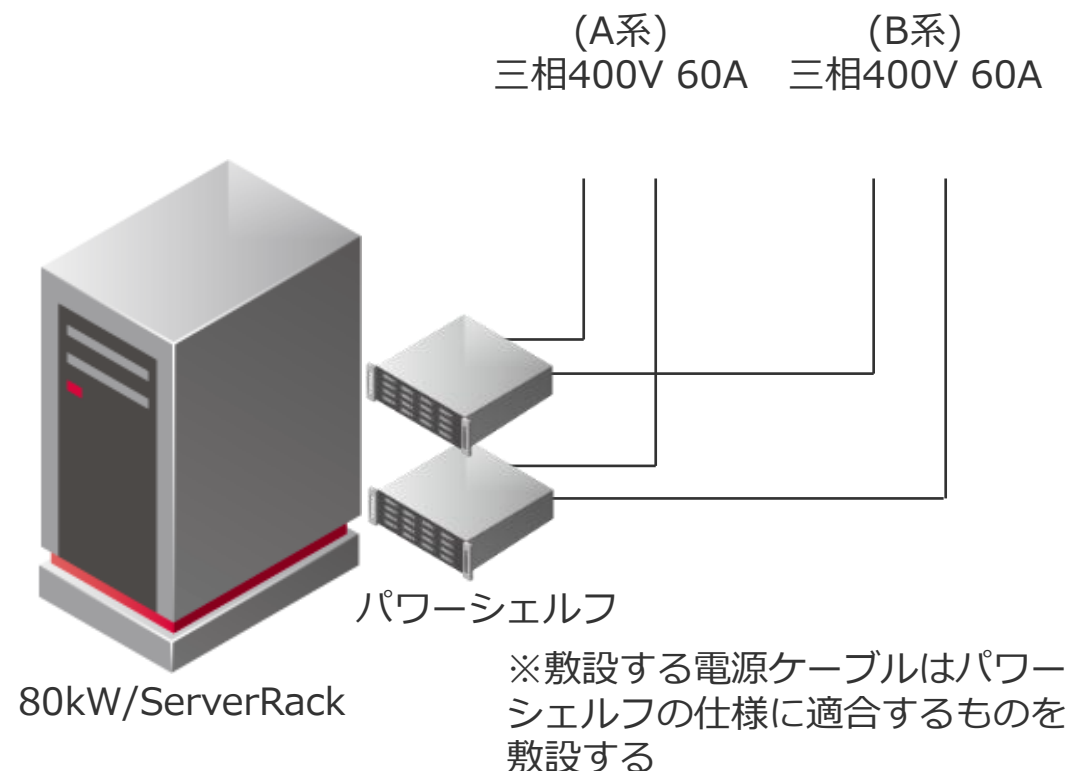
- 三相400VのPDUの場合（コネクタ：IEC60309 3P+N+E 63A）



パワーシェルフの利用(ORv3ラックの利用)

OCPにて規格されているOpenRack v3のパワーシェルフとサーバラック内に設置するバスバーを用いて配電するケースです。

- パワーシェルフを用いた電源供給例



どちらの場合でも、従来の単相200Vと比較すると24本の削減効果が得られます。
サーバラック内外のスペース等を考えると、今後は三相の導入が必須になると考えられます。

4.データセンター設計指針

4.1 建築・レイアウト設計

4.1.1サーバ室内機器レイアウト

データセンターのサーバ室へ構築する場合の機器配置レイアウトです。

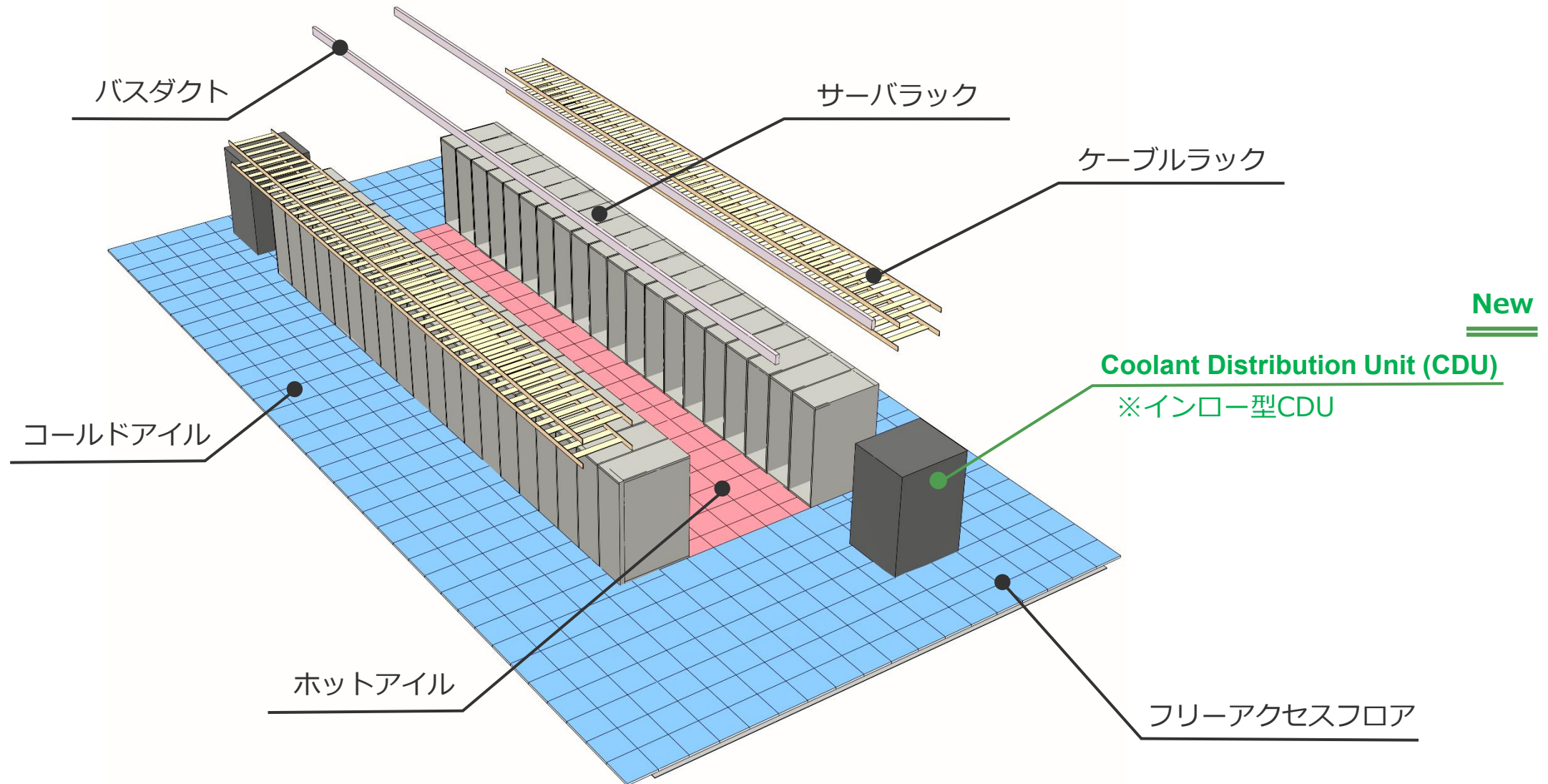


図4.1.1-1：サーバ室内機器配置レイアウト

4.1.1サーバ室内機器レイアウト

フリーアクセスフロアの中へ冷媒の配管を敷設します（天井から吊り下げて設置する場合もあり）。

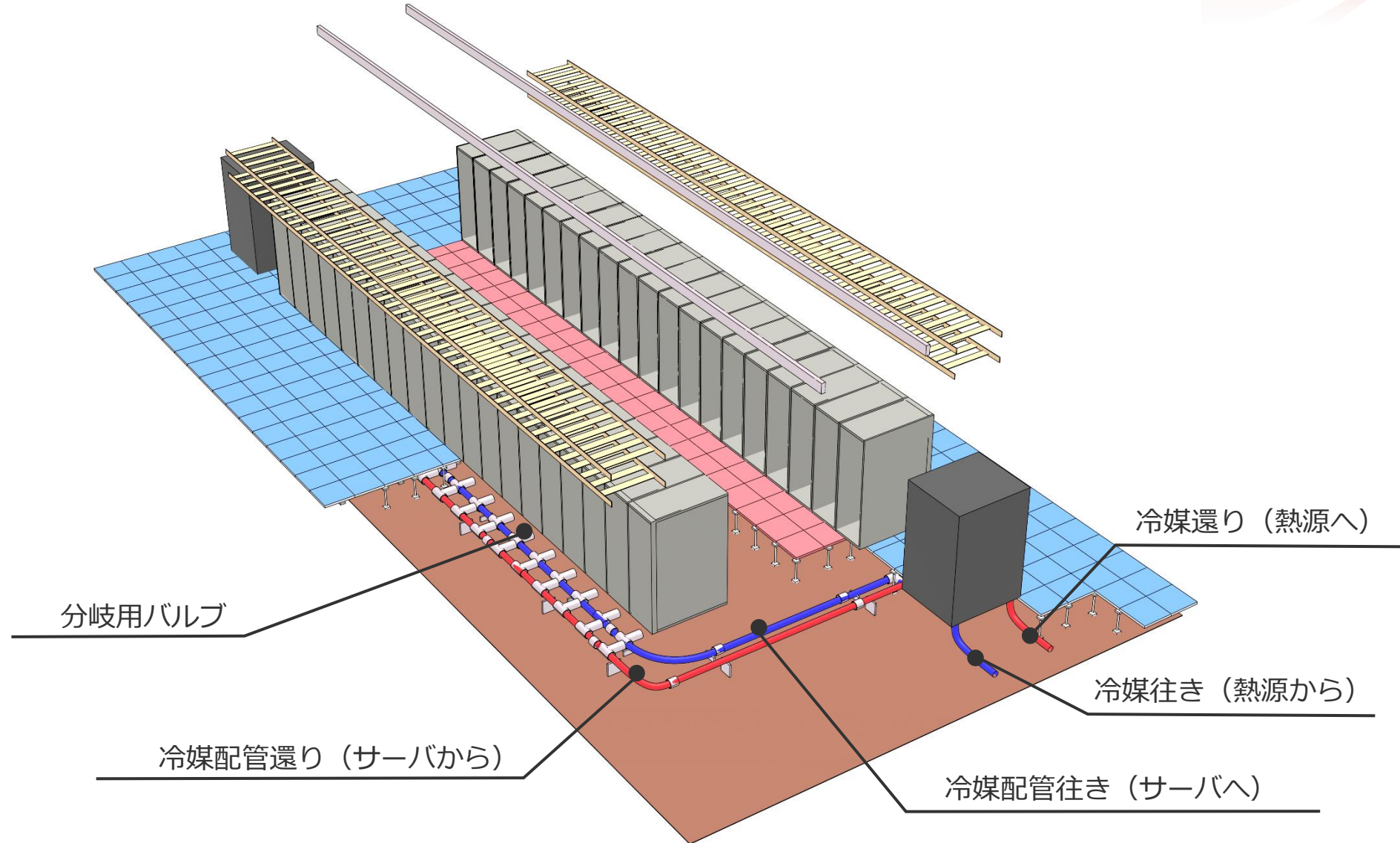


図4.1.1-2：サーバ室内機器配置レイアウト

4.1.2 液冷対応を考慮した建屋構造（耐荷重）

耐荷重

サーバラック、CDU、水配管などを設置するための床耐荷重を考慮して建屋を構築する必要があります。

表4.1.2-1 床荷重概算値

	総重量(kg)	幅寸法(mm)	奥行寸法(mm)	平米荷重(kg/m ²)
サーバラック（GB200 NVL72参照）	1,500	600	1,200	2,083
インローCDU（液体込み）	1,550	900	1200	1,435
TCSループ				215
-冷媒配管（SUS・4inc・40S）	16.4/m	1000	115	
-液体（水）※上記水配管に流した場合	8.3/m	-	-	

YES

床荷重は2,500kg/m²を見込むか

NO

- ◎ 高密度サーバラックを条件なしで設置可能
- ◎ 将来、更なる重量増加への対応が可能
- × 床荷重を増やすことによる構造（フリーアクセスフロア）の費用増加

- ◎ 床荷重を2,000kg/m²、1,500kg/m²などで構築してコストを低減
- ◎ 荷重分散や補強などを行い高密度サーバラック等を設置
- × 荷重分散をするための機器スペース増と材料費増

インローCDUを考慮すると、最低でも床耐荷重は1,500kg/m²必要と思われます。

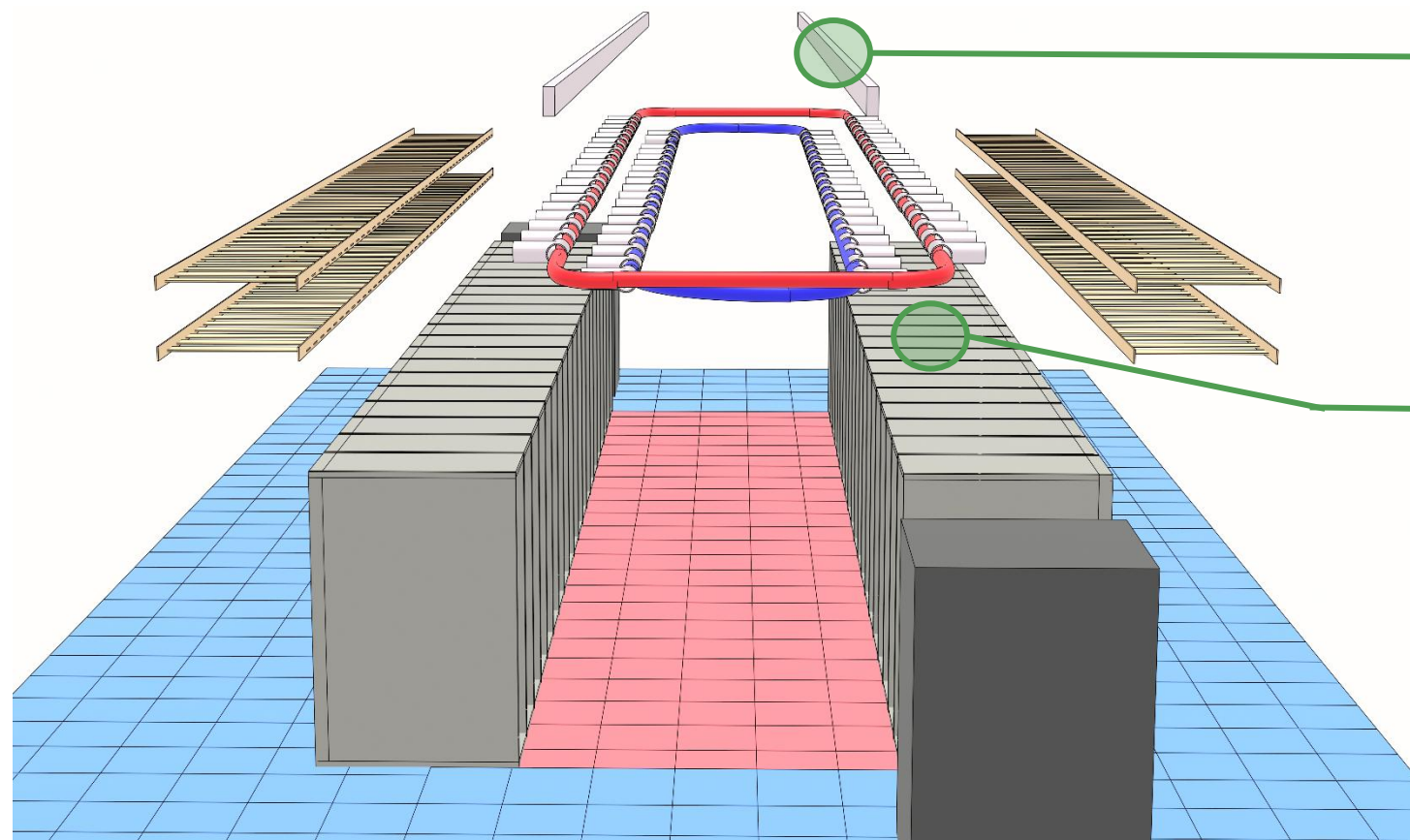
1,500kg/m²以上の床耐荷重についてはサーバラックの仕様と設計構築コストにどこまで見込むかによります。

4.1.3 天井高・床下スペースの設計要件

天井高・床下のスペースを決めるには、まず各種設備をどこに設置するかを決める必要があります。

特に液冷対応のデータセンターでは冷媒配管敷設場所は非常に重要な要素となります。

例えば、以下のレイアウトのように構築した場合に起こりうるリスクを大きく2点ピックアップしました。



1. 配電設備の漏電事故

- 天井部に設置した水配管の接合部から漏水が発生した際に、噴き出した冷媒（液体）が通電部に接触して事故が発生する可能性があります。
- IP等級などで保護できる可能性あり。

2. サーバラック内機器の故障

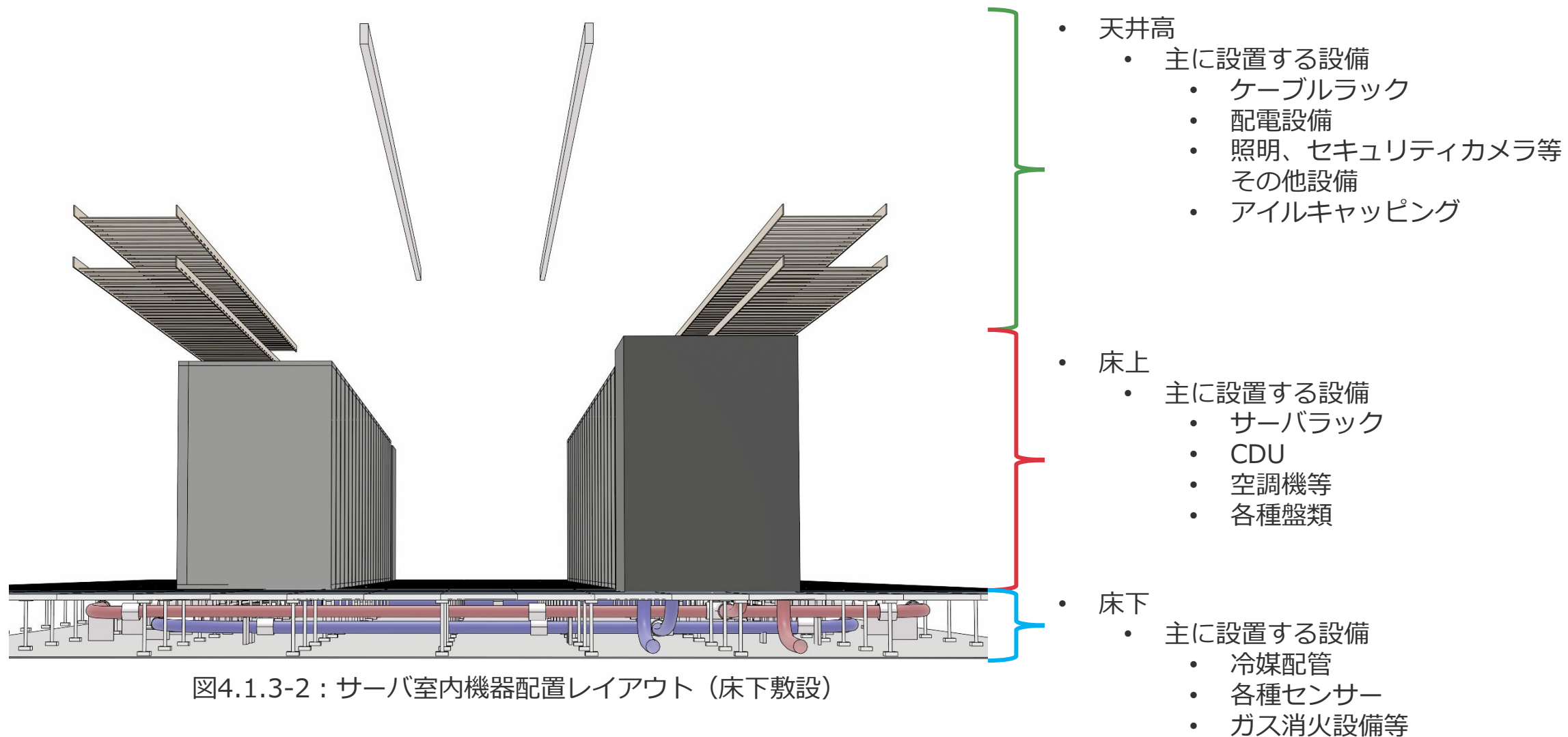
- 天井部に設置した水配管の接合部から漏水が発生した際に、噴き出した冷媒（液体）がサーバラック内の機器内に浸水し事故が発生する可能性があります。
- また、配電設備同様に、電源接続部などに浸水し故障の原因につながります。

図4.1.3-1：サーバ室内機器配置レイアウト（天井敷設）

このようなリスクを回避するために、「冷媒配管は電源・通信設備となるべく共架しない」「漏水時、サーバ設備への影響は最小限」が重要となってきます。

4.1.3 天井高・床下スペースの設計要件

「冷媒配管は電源・通信設備となるべく共架しない」「漏水時、サーバ設備への影響は最小限」の2点を満たすレイアウトとしては以下のように考えられます。※天井部への水配管敷設も設計や各種リスクを考慮して選択することもあります。



4.1.4 搬入用通路幅

サーバ室および、データセンター内の搬入用通路については余裕を持った通路幅を確保することが重要です。

サーバラックやCDUの機器寸法に加えて、台車・ハンドリフターなどの機材や作業スペースなども考慮することが重要です。

将来的にはサーバラックやCDUのサイズ上昇の可能性もあるため、搬入スペースを広く確保するのは将来の拡張性にもつながるかもしれません。

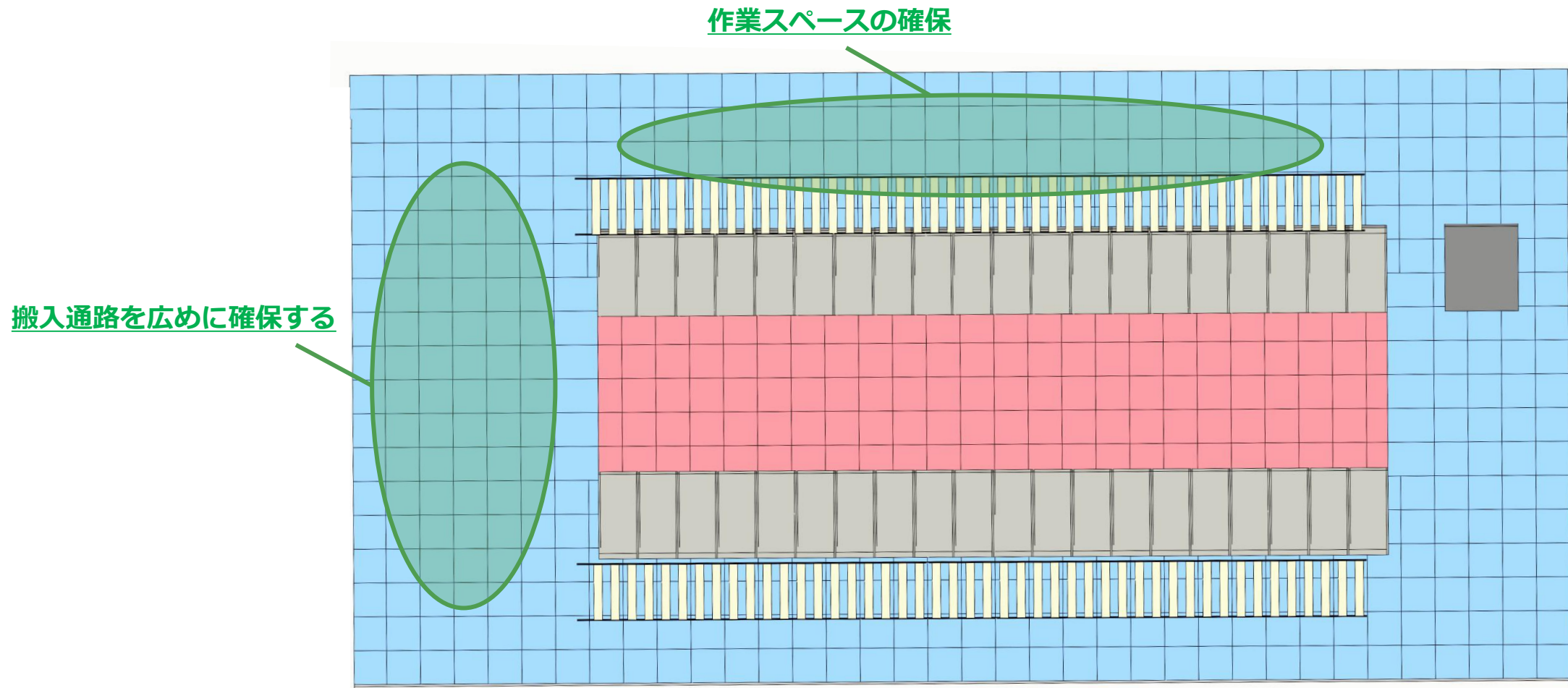


図4.1.4 -1 : サーバ室内搬入注釈

4.2 液冷設備の配置と配管設計

4.2.1 インローCDUの配置設計

CDUにはインロー型とインラック型で大きく2種類存在します。

本項ではデータセンターファシリティとして調達をするインローCDUについて記載をします。

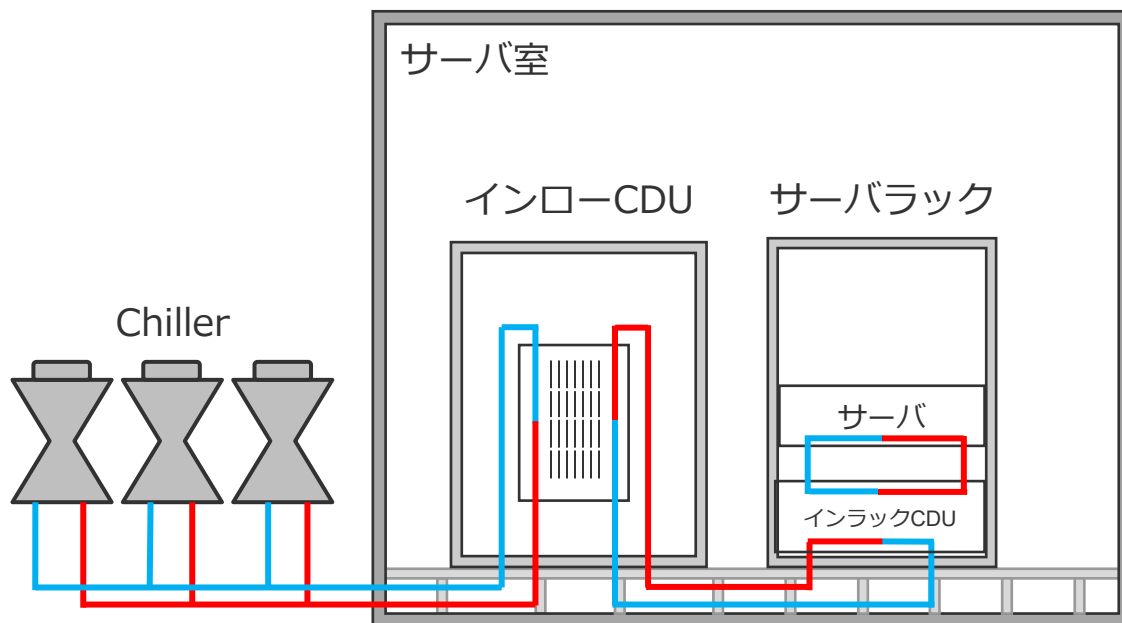


図4.2.1-1： LTLの構成例

図4.2.1-1の通り、インローCDUはFWSとTCSで冷媒を熱交換する機器です。

サーバ等のIT機器と異なり、厳しい空調条件などは存在しないため、サーバ室への設置は必須ではありません。

しかし、2次側で送水するためのポンプ性能は各社のCDUで性能が決まっているため、設置位置には注意が必要です。

- CDUとサーバラックの位置が離れることのリスク
 - 配管長が伸びる
 - 配管長が伸びると摩耗損失が増加する
 - 摩耗損失が増加すると圧力が低下し、適切な流量がサーバラックに供給できず冷却能力が不足する（もしくは、ポンプの過負荷が発生する）
 - CDUとサーバラックは離れすぎないほうが良い

4.2.1 インローCDUの配置設計

CDUをどこに配置すべきかはデータセンター全体のレイアウトにもよりますが、距離の観点や設置のしやすさから考えるとサーバ室内もしくはサーバ室に隣接する機械室などが良いです。

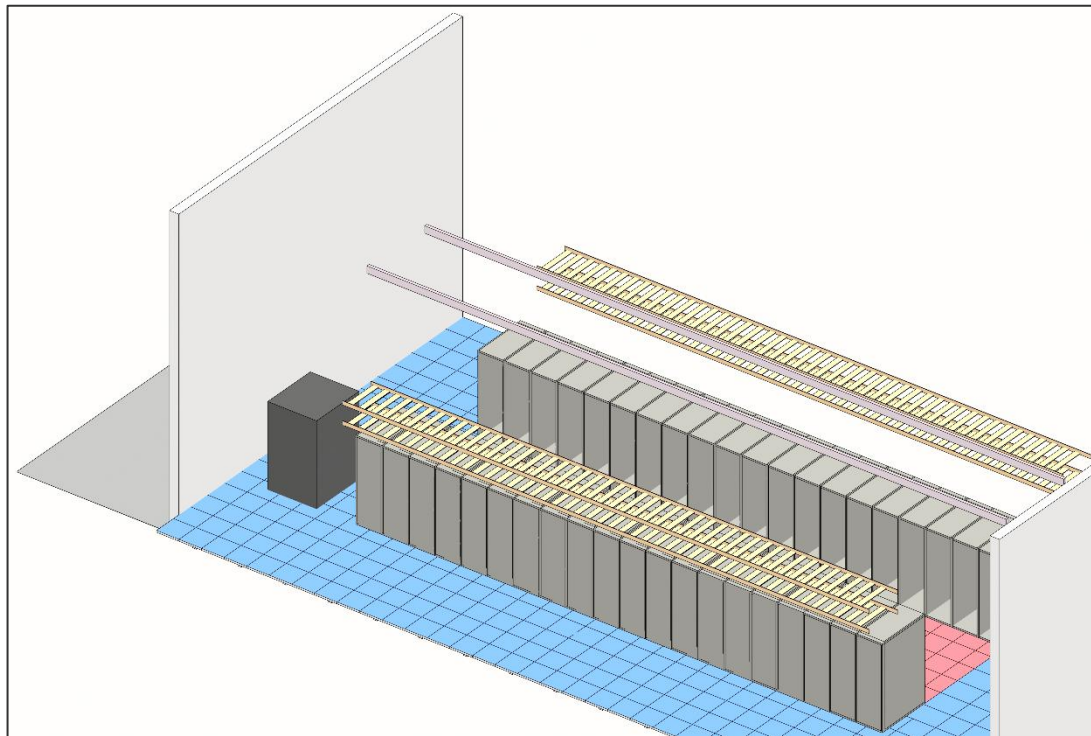


図4.2.1-2：サーバ室内に設置

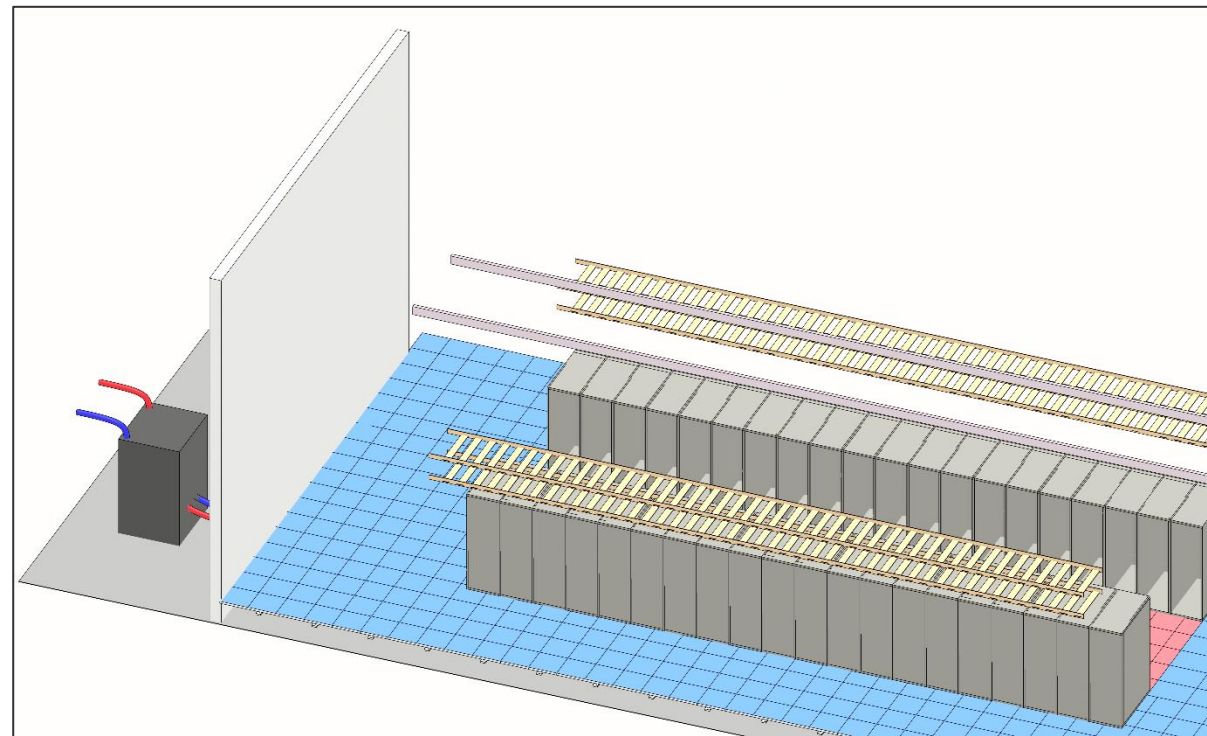


図4.2.1-3：サーバ室隣接の部屋へ設置

また、設置に際しては設置作業・搬出入作業・CDU内のメンテナンスが行えるだけのスペースは確保しましょう。

前面：CDU扉の開閉が行え、人が作業を行えるスペース（概ね800mm以上）

背面：CDU扉の開閉が行え、人が作業を行えるスペース（概ね800mm以上）

側面：指定なし（設置作業・搬出入が行えるスペース）

※メンテナンスなどに必要な周辺スペースは各CDUメーカー毎に異なるため仕様等を確認してください。

4.2.2 TCS用冷媒配管ルート設計

CDUの設置位置に合わせて配管の敷設を行う必要がありますが、基本的には冷媒を引き込むサーバラックの前後どちらかに敷設することが推奨されます。

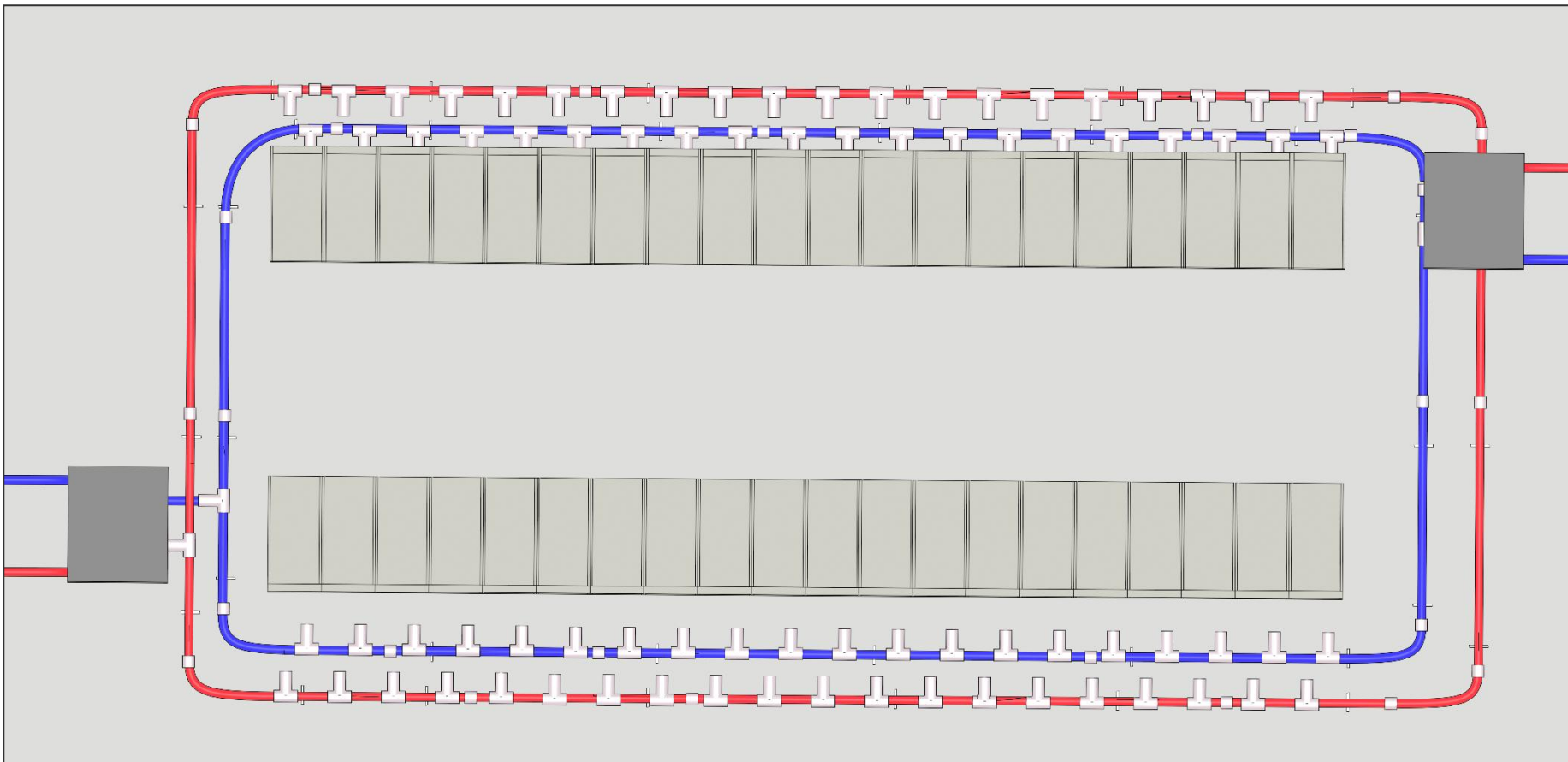


図4.2.2-1：配管レイアウト例（平面）

- 図4.2.2-1はコンテナメント外に配管を敷設していますが、コンテナメント内に敷設しても良いです。
 - コンテナメント内に敷設する場合、定期メンテナンスや緊急時の対応が行えるかは事前に確認してください。

4.2.3 TCS用冷媒配管材質の選定

冷媒用の配管には材質が様々あり、それぞれの特長を考慮した選定が重要です。

表4.2.3-1：配管材質ごとの特長例

	主材質	耐久性	コスト	重量	特徴
金属系	炭素鋼	△	○	×	・ 高強度で大口主配管に最適
	ステンレス	○	×	△	・ 耐食性と清浄性に優れ施工性も良いが高価
	銅	△	△	△	・ 熱伝導性が良いが、電食などの配慮が必要
	真鍮	△	○	×	・ 小口径配管に適しているが、水質・水温には注意が必要
樹脂系	PP-R	△	○	○	・ 腐食がしにくく、軽量で施工が良い ・ 熱による膨張が発生しやすい
	PEX	△	○	○	・ 曲げ加工などが容易で施工性が良い ・ 非常に燃えやすい
	PVDF	○	×	△	・ 自己消火性があるが、コストが非常に高い
塩ビ系	PVC	×	○	○	・ 低コストかつ軽量だが、耐久性が全般的に低い ・ 発火時の酸性のガスが発生
	CPVC	△	△	○	・ 高温帯でも使用可能 ・ 発火時の酸性のガスが発生
合成ゴム	EPDM	○	—	○	・ ホース外層にてよく用いられる ・ 耐火性をもつ製品もあり

※各メーカーや製品等の仕様によって特徴が異なる可能性があります

- ❑ サーバ室内のため引火などによる影響を考慮した材質選定
- ❑ 構築に必要なコストの算出
- ❑ 配管内の圧力等に耐える耐久性を考慮

} 様々な要素を考慮して、データセンターの環境に適した材質選定が重要です。

4.2.4 バルブ・継手・センサーの配置設計

配管にはバルブ・継手・センサー（計測器）等の各種パーツを設置します。
以下の図では主たるパーツの配置例を記載します。

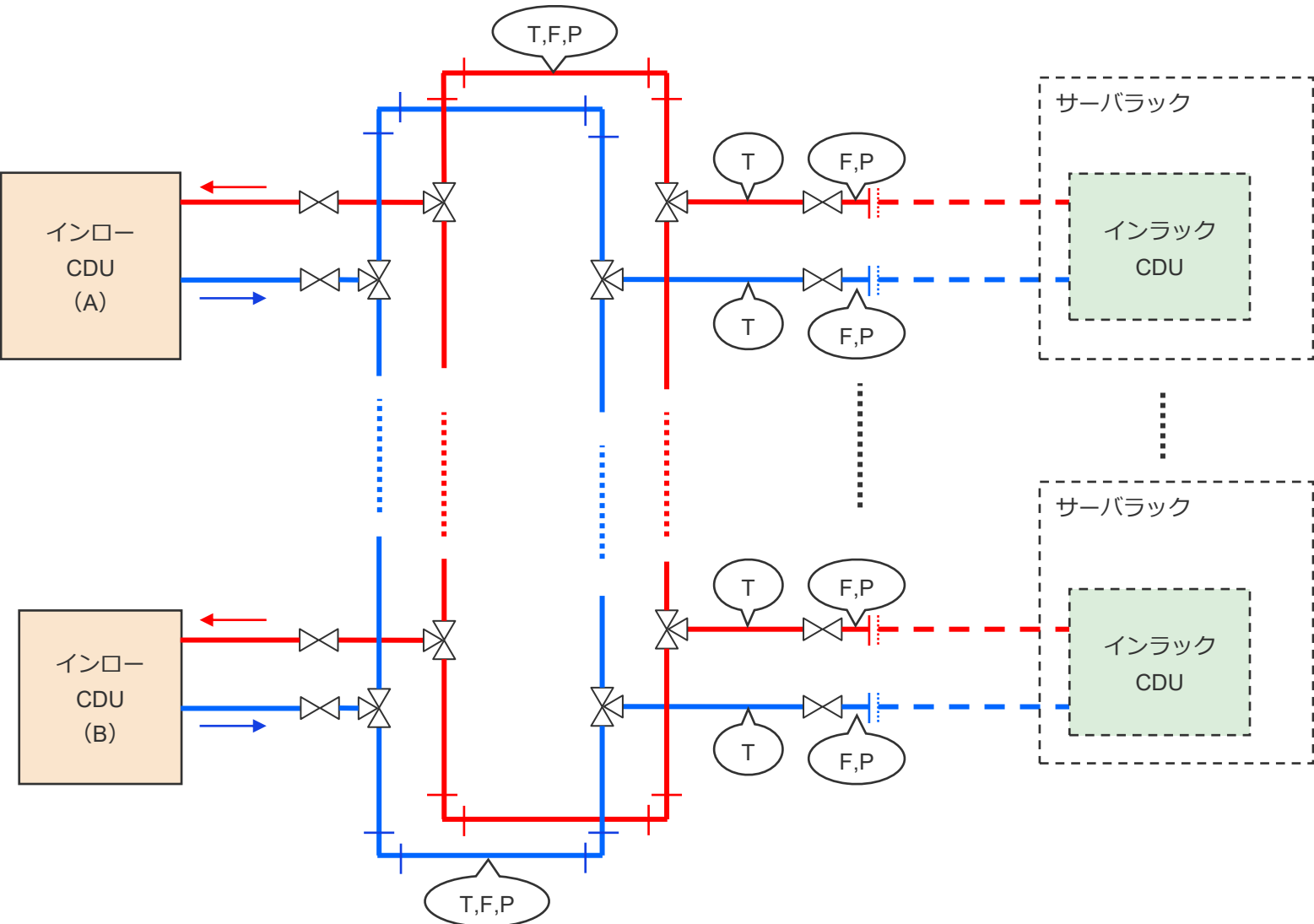


表4.2.4-1：凡例

	仕切弁（ボールバルブ）
	3方弁（Tポート）
	カップリング
	エルボ
	センサー（水温）
	センサー（流量）
	センサー（圧力）
	データセンター手配
	別途手配

図4.2.4-1：各種パーツの配置例

4.2.4 バルブ・継手・センサーの配置設計

仕切弁（バルブ）は以下のような考慮事項が考えられ、配置における一例を示します。

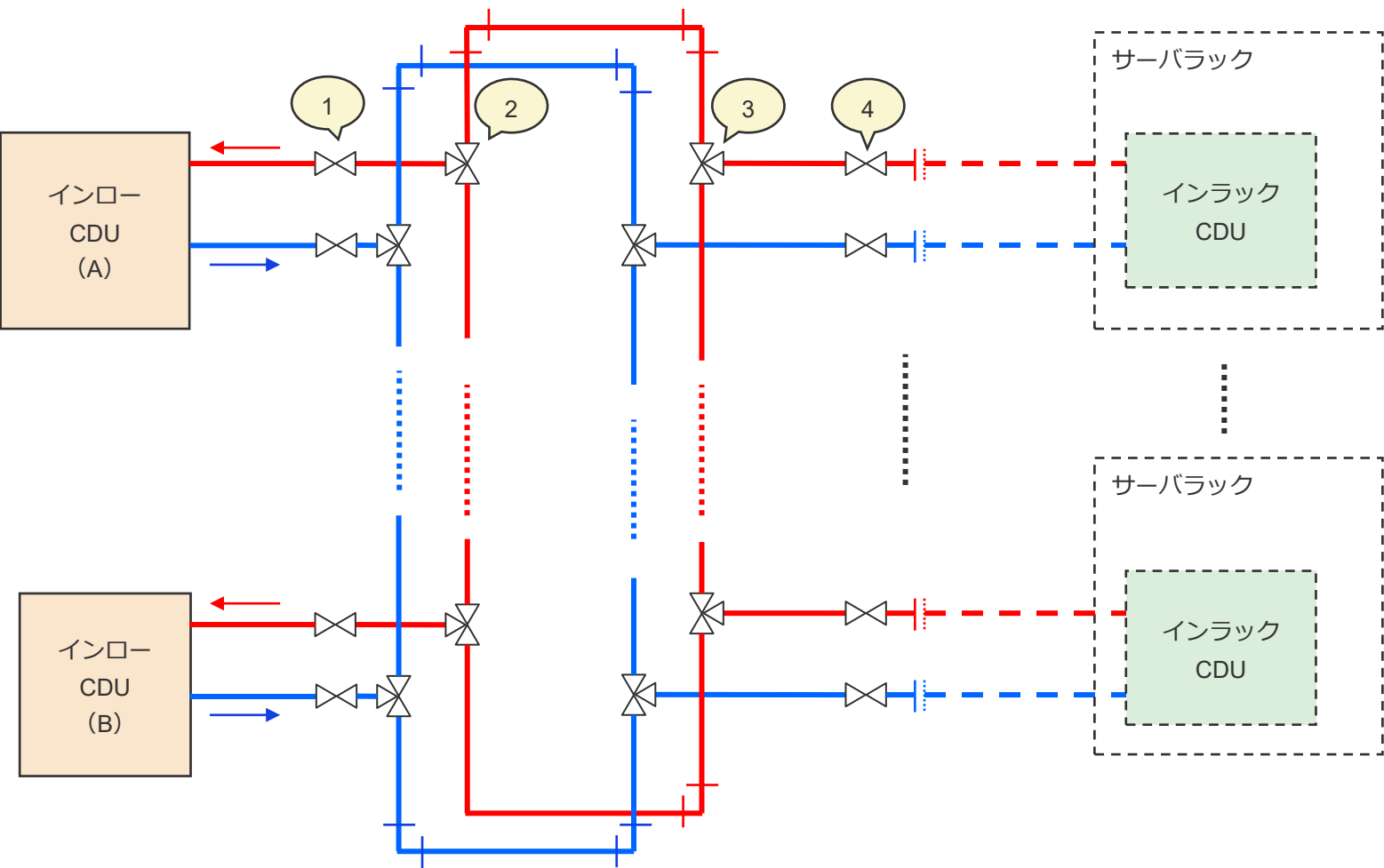


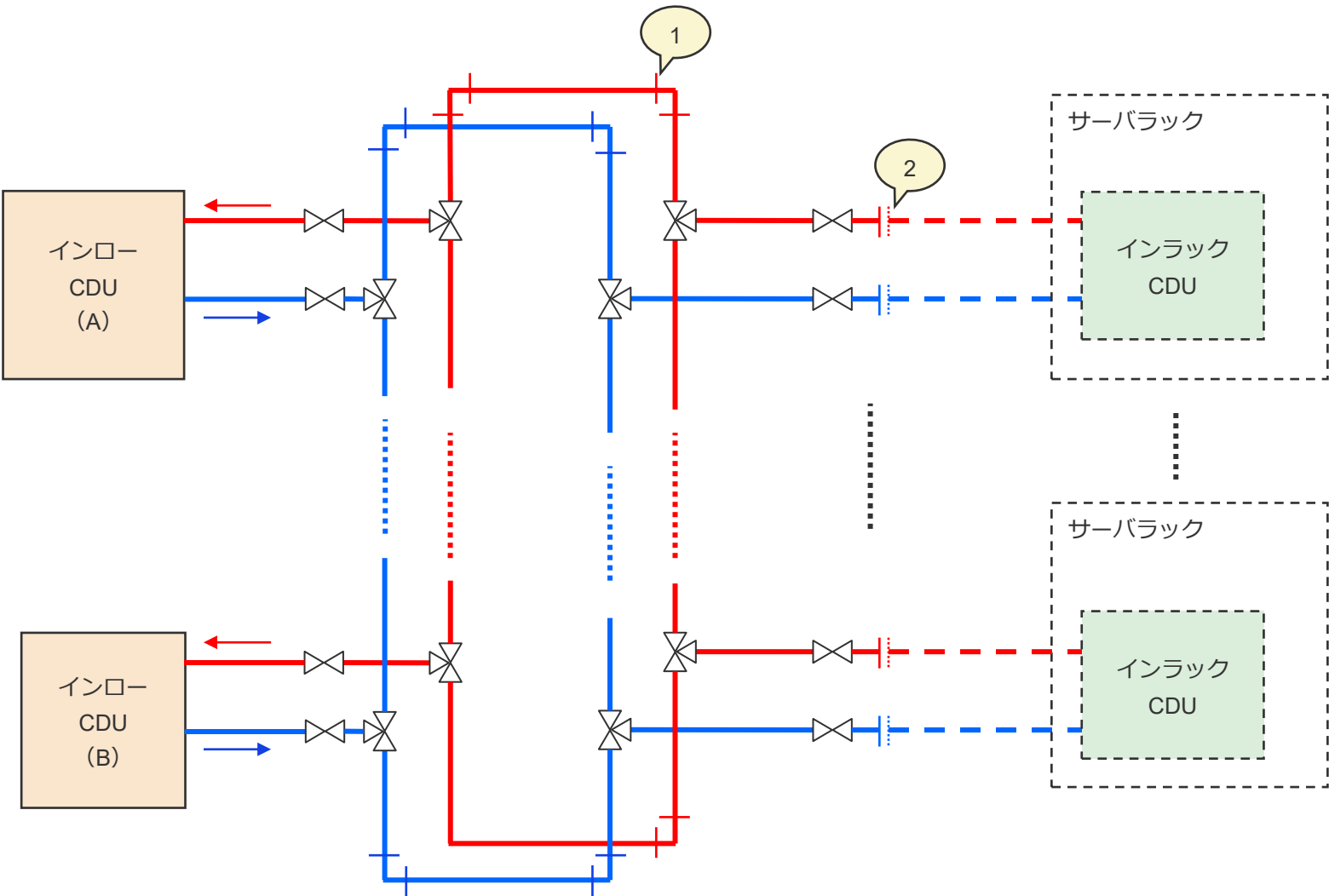
図4.2.4-2：仕切弁（バルブ）の配置例

1	インローCDUにて、交換・メンテナンス・異常発生時にてA系（もしくはB系）への送水を停止する必要が発生した際に、バルブで操作する役割を持ちます
2	Tポート型の3方弁にてインローCDUへ分岐させる役割を持ちます
3	Tポート型の3方弁にてサーバラック（インラックCDU）へ分岐させる役割を持ちます
4	インローCDUにて、交換・メンテナンス・異常発生時にてA系（もしくはB系）への送水を停止する必要が発生した際に、バルブで操作する役割を持ちます

※配置数は必要に応じて増減します

4.2.4 バルブ・継手・センサーの配置設計

継手は以下のような考慮事項が考えられ、配置における一例を示します。

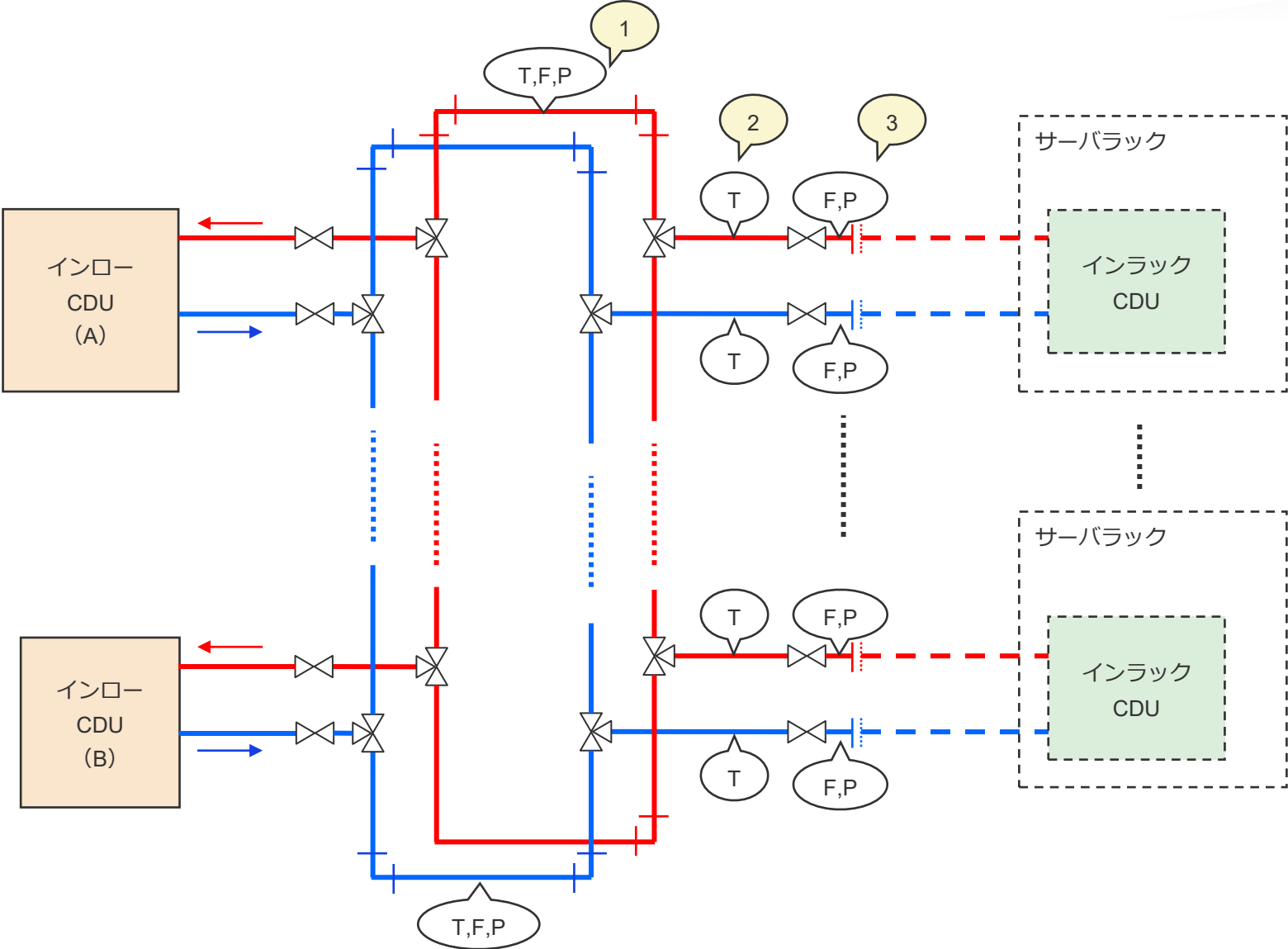


1	金属管（SUS等）の場合、曲げが必要な個所についてはエルボを使用します。 角度は詳細なレイアウトを設計する際に決定します。
2	サーバラック（インラック CDU）へのホース等が接続できるように、ホース接続口と適合する形状および径のカップリングを使用します。 ※バルブ二次側にて形状およびサイズが一致する場合は不要となる可能性あり

図4.2.4-3：継手の配置例

4.2.4 バルブ・継手・センサーの配置設計

センサーは以下のような考慮事項が考えられ、配置における一例を示します。



1	分岐前の幹線部分にて主たるパラメータ3点を計測します。 配置例では1箇所ですが、距離がある場合などは複数設置しても良いです。
2	分岐後に各サーバラックへ送水する水温を計測します。 分岐後であれば著しい水温の変化は発生しないため、図3.2.4-3の位置へ配置しています。
3	2の水温同様に圧力と流量を計測します。 両パラメータはバルブを通過することで数値が変化する可能性があるため、図3.2.4-3の位置へ配置しています。

図4.2.4-4：センサーの配置例

4.2.4 バルブ・継手・センサーの配置設計

バルブや配管を接続するための継手・コネクタは様々な種類があり、基本的には同じ規格や品番のもので合わせる必要があります（一部例外あり）。

ここでは液冷設備に用いられる代表的なコネクタや継手を記載し、選択の参考としてください。

表4.2.4-2 代表的なコネクタ・継手の製品例

名称	主な規格	用途・特徴
平行ねじ	JIS B 0202（日本産業規格） ANSI（米国国家規格協） BSI（英国規格協会）	- 配管などの接続に用いられるねじ規格 - 側面が平行で、一定の径を維持している - 引っ張り強度が非常に強い - 接続の際にはシール剤を用いることが必要 - 別のねじ規格としてテーパねじが存在する
サニタリー（ヘルール継手）	IDF（国際酪農規格） ISO（国際標準化機構） DIN（ドイツ工業規格） 3A（米国サニタリー規格）	- 元々は食品や医薬品業界で用いられており、内面が鏡面仕上げであったり、液だまりが起こりにくい構造となっている - 接続にはクランプ型の金具（ヘルール継手）を用いて行うため、施工性が良い
カムロック	ANSI（米国国家規格協） DIN（ドイツ工業規格） ISO（国際標準化機構）	- 元々は石油化学業界などで使用されていた継手 - 工具不要で施工性が非常に良い - アームによる不意な離脱を防止することができ、安全性に優れている
fd83	—	- Danfoss社の2インチコネクタ（内径は1.5インチ） - グローバルで非常に多く使用されているコネクタ
CGB20(CGB25)	—	- Staubli社の3/4インチコネクタ（CGB20の場合） - インラックCDUの接続口などで多く使用されているコネクタ
TDU50	—	- Staubli社の2インチコネクタ - 大流量化が特徴のコネクタ

4.3 冗長設計

4.3.1 熱源の冗長化

チラー等の熱源機器は故障等による停止が起こると、冷媒の供給が止まってしまうとともに、サーバの冷却も止まってしまうため、冗長化について検討する必要があります。

これは液冷となっても考え方は従来の空冷と同等のため、データセンターに応じた冗長性を選択します。

例えば、日本データセンター協会が発行するデータセンターファシリティスタンダードでは各ティアに応じた冗長性の考え方が示されているので、参考にすると良いです。

4.3.2 冷却水系統の冗長化設計

熱源同様に、冷却水系統（配管）についても故障・破損・交換・メンテナンス等による対応で冷却水の供給を止める必要が発生した時でも、サーバの冷却が行えるように冗長化を検討する必要があります。

非常にシンプルな冗長化設計は本線系（A系）の配管に加え、予備系（B系）の配管をもう1系統敷設することです。

ただし、この冗長設計を実現するためには配管スペースの確保とコストのことを考えなければなりません。

その他にはループ形状で配管を敷設することで冗長化を確保するケースもあります。

冗長箇所は大きくFWSとTCSの部分に別れ、どちらか一方の冷媒循環が止まるとサーバの冷却が止まるため、どちらの配管系統も冗長化することでシステム全体の冗長性が確保されることになります。

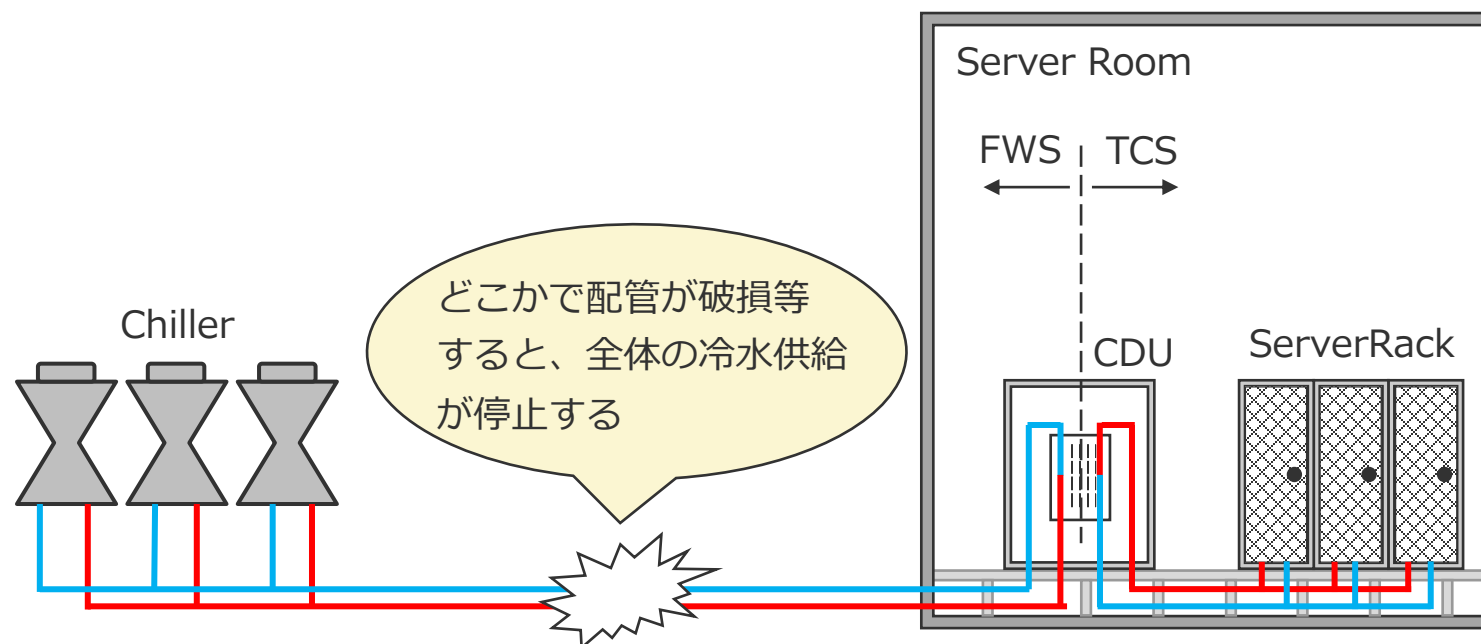


図4.3.2-1：N構成の場合

4.3.2 冷却水系統の冗長化設計

ここまでを踏まえて、冷却水系統の冗長化に関する構成例を以下に示します。

この構成はFWS・インローCDU・TCSの全てをN+1で表しています。

(インラックCDU等の接続口がーか所しかないため、部分的にシングルポイントが発生します)

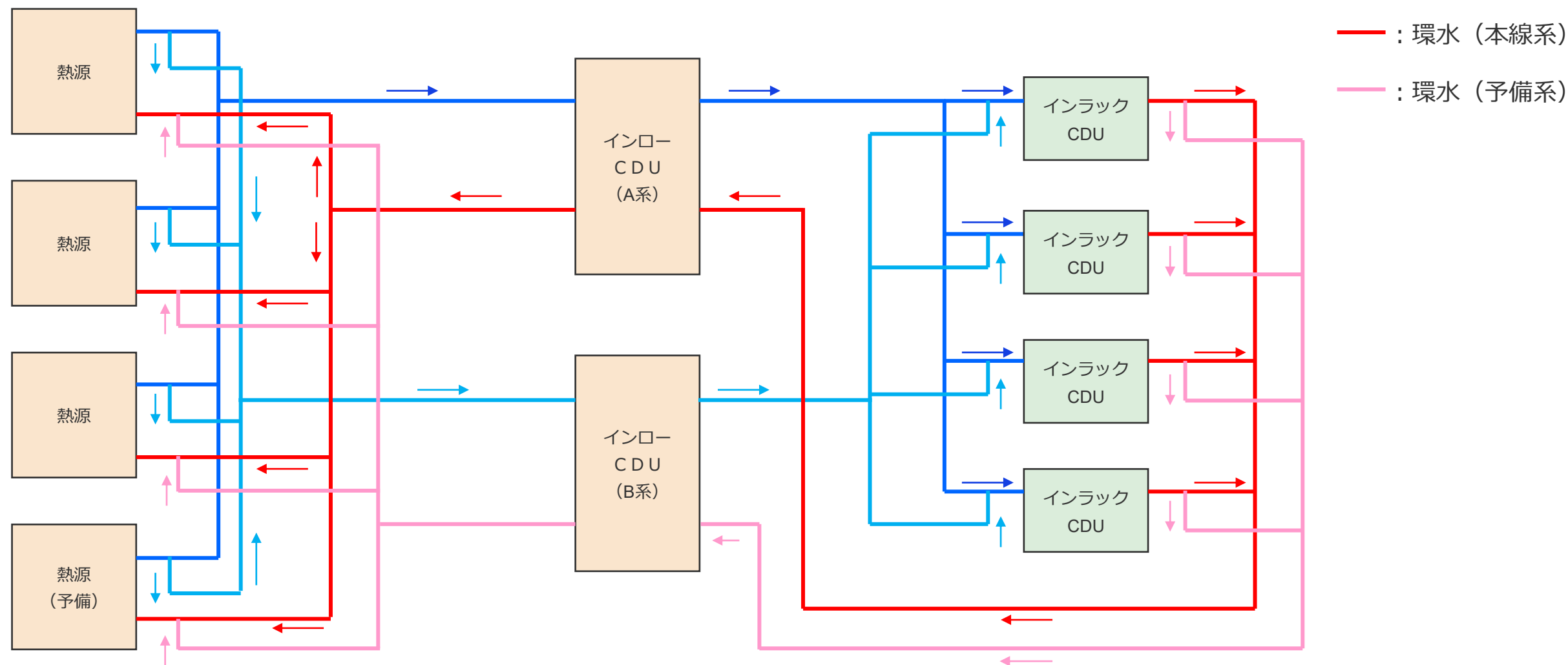


図4.3.2-2 : 冗長化設計構成例

4.3.2 冷却水系統の冗長化設計

図4.3.2-2では配管をN+1で構成しましたが、ループ構成で冗長化を図る方法もあります。

N+1(2N)構成より配管数量の削減などが期待できます。

この構成も一部箇所でシングルポイントが発生するため、留意が必要です。

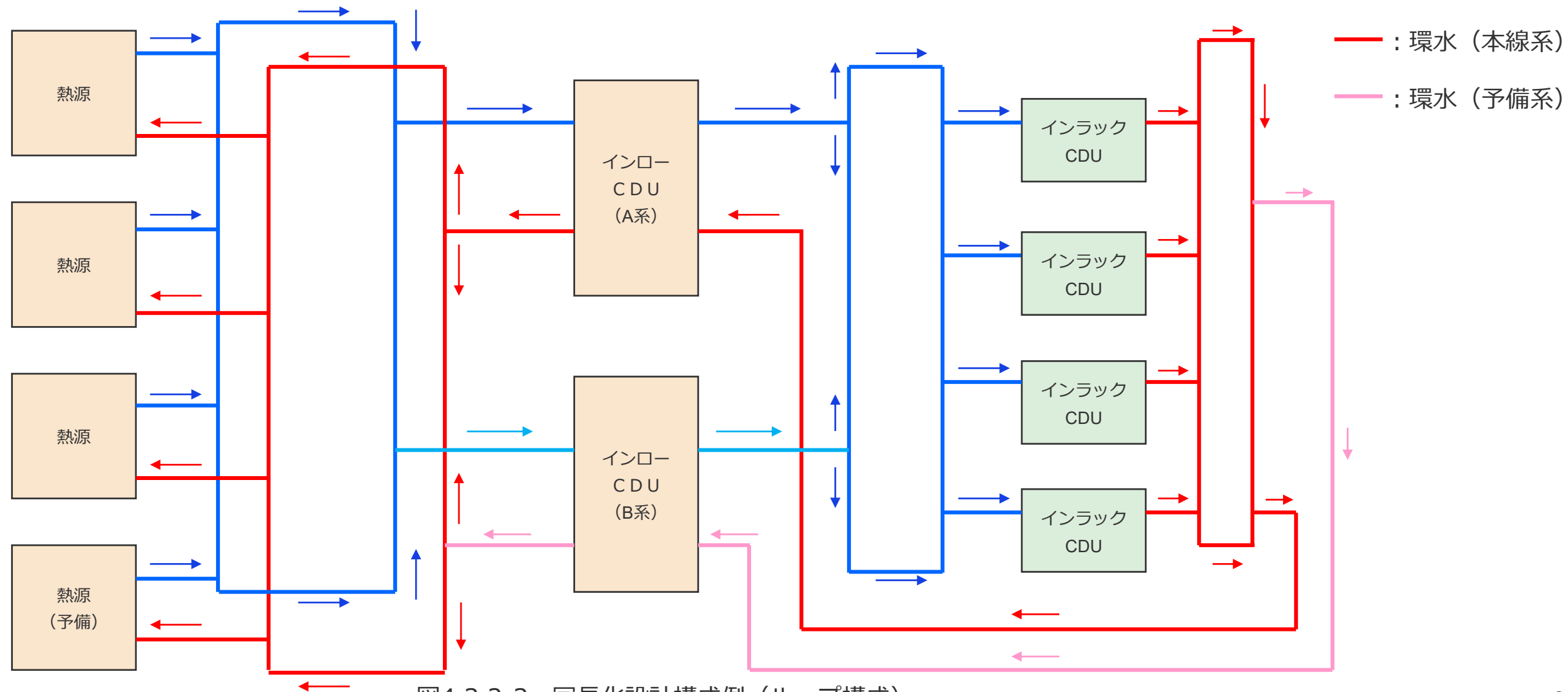


図4.3.2-3 : 冗長化設計構成例 (ループ構成)

5 導入・工事

5.1 施工区分

5.1.1 液冷設備における施工区分

液冷設備の構築は従来の電気設備等と同様にデータセンター事業者にて、事前に構築する範囲とユーザが対応する事項を明確に定めておくことが重要です。

考え方や各所掌における構築範囲は各社で異なりますので、本ページでは一例を示します。

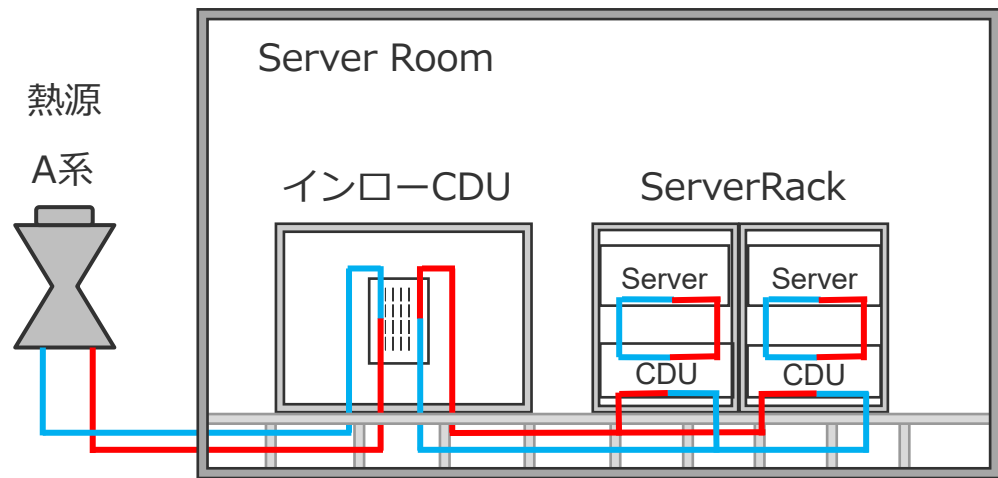


図5.1.1-1：全体構成概要

熱源機器の設置	DC事業者
水配管の敷設（熱源～インローCDU）	DC事業者
インローCDUの設置	DC事業者
水配管の敷設（インローCDU二次側幹線）	DC事業者
二次側幹線からの分岐管敷設	DC事業者
バルブの設置	DC事業者
変換コネクタの接続	要協議
ホースの敷設	要協議
ホースとインラックCDUの接続	要協議
インラックCDUの設置	ユーザ
インラックCDU二次側の水配管敷設	ユーザ
サーバ機器および、サーバラックの設置	ユーザ

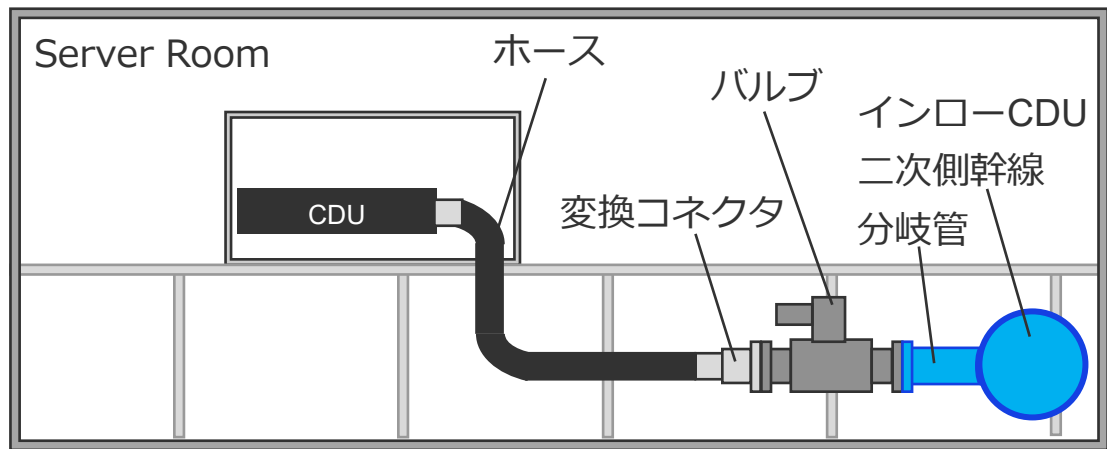


図5.1.1-2：サーバラックへの水配管引き込み構成例

5.2 輸送・搬入

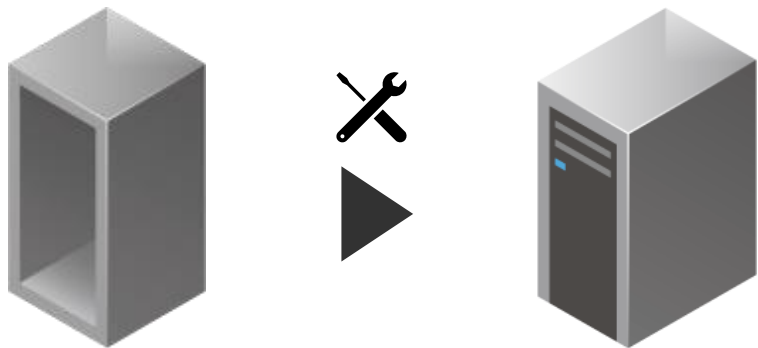
5.2.1 機器輸送計画の策定

ここでは主にサーバ室へ設置する機器の輸送計画について記載します。

特にサイズが大きく、重量もあるサーバラック（サーバ機器含む）は規模によっては数量も多くなるため注意が必要です。



工場・倉庫



- 液冷用のサーバラックは機器や水配管、冷媒などを工場や倉庫で事前に搭載した状態もしくは、それぞれのパーツ単位で輸送手配します
- また、工場側でサーバラック単位で冷媒の循環等の試験を行うこともあります
- 上記の場合、出荷時にはサーバラックあたり1,000kg~2,000kgあたりの重量とあるため、受入側であるデータセンターでも注意が必要です



- トラックは精密機器運搬用トラックを利用
(エアーサスペンション付きの車両)
- データセンターでのサーバ室への運搬作業や保管台数など、現地側での受入れキャパシティに応じたサーバラック台数を輸送
(一日にキャパシティを超えた台数を輸送しても受入れられない可能性がある)

データセンター



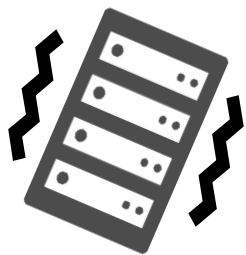
5.2.1 機器輸送計画の策定

サーバラックや機器をデータセンタへ輸送する際には大きく2パターンに分かれます。

	パターンA	パターンB
輸送方法	 工場等でサーバラックを一式組立てて試験を行った後に、機器を実装したままサーバラックをデータセンターへ輸送する方法	 工場等でサーバラックを一式組立てて試験を行った後に、機器を一度取り外してサーバラックと機器をそれぞれ梱包し、データセンターへ輸送する
メリット	- 工場側で組み立てたサーバラック一式をそのまま輸送し搬入設置するため、現地での機器実装作業を削減できる - 水配管などを接続しなおす必要がないので、現地での試験を一部削減、簡易化することができる場合がある - 現地での搬入物点数が減るため、作業スペースや保管スペースを削減できる - 梱包材の使用量を減らすことができる	- 各機器を個別で梱包し輸送するため、損傷リスクが低減される - パターンAより、サーバラックや各機器の重量が軽いいため、段差やスロープ、床荷重による搬入作業の影響が少ない - 機器のサイズ、重量によっては台車での搬入が可能
デメリット	- 機器分の重量が加算されたサーバラックを輸送・運搬するため、衝撃・振動などによる損傷対策を施す必要がある - 段差やスロープ箇所の運搬、乗り越え対策が別途必要 - サーバラックの重量が搬入ルート of 床耐荷重を超過する可能性がある - サーバラック重量に応じた搬入用機材（ハンドリフター等）が必要	- 工場側で実装したサーバ等の機器を一度取り外し、再梱包する工数が発生する - データセンターにて再実装するため、工場で実施した試験と同等の試験をデータセンター現地で実施する場合がある - 現地での実装、組立て - 各サーバラックに加え、機器などを保管するスペースが必要

5.2.2 搬入計画の策定

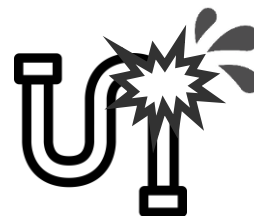
データセンター内での搬入計画については従来よりも重量のあるサーバラックを搬入する点に注意が必要です。未搭載であれば200kg以下程度の重量ですが、搭載済みの場合は1,000kg~2,000kg程度の重量となります。また、重量増加のみではなく精密機器が搭載されていること、冷媒が注入されていることの2点も注意が必要です。これらの状況を踏まえたうえ、現地搬入計画を策定するにあたり注意すべき事項4点を記載します。



機器振動での故障

サーバラックには高密度で機器が実装されることが多く、また重量も増加することからより小さな段差や通常の運搬時に振動への影響が大きくなります。

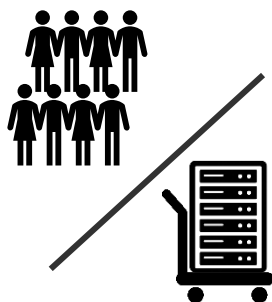
この振動で機器が故障しないような運搬計画が重要となります。



水配管からの漏水事故

搭載搬入の場合、水配管などの組み込みと同時に冷媒となる液体も注入されていることがあります。

その場合、水配管の破損やコネクタが不意に外れることによる漏水事故に注意する必要があります。



サーバラック1台あたりの作業人数増加

重量物を安全に運搬（荷上げ荷下ろし含む）するために、サーバラック1台あたりの作業人数を増やさないといけなくなる可能性があります。人数確保の観点から、作業日や作業内容の計画は余裕を持って行う必要があります。



傾斜付き通路（スロープ等）での運搬

スロープ等の傾斜が付いている通路を運搬する場合、機器の横転やスロープを上げるための押す力に注意しなければなりません。

サーバラックの重量や作業環境によってはスロープではなく昇降機のようなものを用いることも作業計画時に検討します。

5.3 設置工事

5.3.1 インローCDUの設置工事

インローCDUの設置工事は基本的にCDUメーカーの取扱説明書などがあればそれに従いますが、説明書取得前の計画段階では以下の点に留意しながら進めるとよいです。

- 機器総重量と床荷重の確認
機器の重量には本体分のみならず、付属の配管やCDU内に注入する冷媒の重量も含めた総重量で計算します。
また機器総重量に対して、設置予定場所の床耐荷重が問題ないことも確認します。
- 冷媒の注入有無
データセンター輸送時点で冷媒が注入されている場合は、運搬や設置時に漏水事故が起きないように留意する必要があります。
- 水配管の取り出し口
基本的に水配管は上下どちらからでも取り出すことは可能ですが、製品によっては上部からのみといった仕様もあるので事前の確認が必要です。
また、スラブ床の場合は下から水配管を取り出せない可能性があるため、架台などで嵩上げして配管スペースを確保する必要があります。
- 水配管のサイズと接続方法
FWS側とTCS側で用意する配管径に影響するため、配管サイズと接続方法は事前に仕様を確認して現地でスムーズに構築できるように計画します
- 電源の仕様確認
インローCDUは製品によって入力電圧等が異なりますので、事前にこういった仕様の電源を用意すればよいか確認しましょう。
- 設置およびメンテナンス作業スペース
周囲の設備やルームの広さなどに留意し、設置に必要なスペースに加えて、メンテナンスや機器交換作業などに必要なスペースも確保できる場所に設置しましょう。

5.3.2 TCS配管の敷設工事

TCS配管はサーバ室内に敷設するため、基本的にはサーバラック等が設置される前に敷設されていることが理想的です。

- 配管敷設場所の決定
サーバラック架列位置を定め、その周囲に配管を敷設するように位置を決めます。
また、幹線からの分岐もあるためサーバラック直下ではなく、前後どちらかに離隔をとって敷設しましょう。
通常のインラックCDUであれば背面側に水配管の接続口がありますので、最低でも500mm程度の離隔を確保すると良いです。
- 配管サイズと設置スペースの確保
必要な流量等から配管サイズを決定し、床下もしくは天井での敷設スペースを確保します。
敷設スペースは配管本体のみだけでなく、バルブや断熱材、固定用鋼材なども含めたサイズを見込む必要があります。
- サーバラック引き込み用分岐配管の敷設
分岐配管の敷設位置は事前にサーバラック設置想定箇所に向けて分岐用の配管を設けます。
また、バルブ止めで敷設する場合は継手の形状や規格などを定めておきます。
バルブの仕様も事前に定めておきましょう（開閉のみであればボールバルブ、流量調整を行う場合はバタフライバルブ、など）。

5.3.3 インラックCDUへの配管接続工事

分岐用バルブからインラックCDUへの配管（ホース）接続はインラックCDUとのコネクタ仕様を合わせたり、継手を組み合わせたりする関係から、業界特有の要素が存在します。

- 配管（ホース）本体の用意
インラックCDUのメーカーにて付属品としてホース用意されていることもあります。多くはDanfoss社もしくはParker社の製品が用いられます。
SUS製などの金属配管を用いることも可能ですが、インラックCDU（サーバラック）の設置位置が少しずれても対応できるように、可とう性のあるホース等を用いることが好ましいです。
サイズはインラックCDUの接続口に合わせるのが好ましいですが、最大でも2インチサイズを見込みましょう。
- インラックCDUのコネクタ
多種多様なので必ず事前に確認をします。
ヘルールや平行ねじのような汎用品である場合もあれば、各メーカーのコネクタ製品を用いるなどCDUメーカーによって異なります。
また、CDUメーカーへ事前に調整を行えば希望する継手で納品してもらうことも可能です。 ※メーカーによっては対応不可の場合もあり
- バルブ側のコネクタ
バルブ側の継手仕様と合う継手を用意するか、変換継手を用意して接続します。
- ホースのアセンブリ
工場等にて事前に両端コネクタを接続した状態でホースを納品することもあります。
コネクタとホースの接続方法によっては、現場でバンド締めなどをするよりも高い密閉性を確保することができます。
また、メーカーによってはホース部分単体での漏水試験などを行うことも可能なため、信頼性の向上にもつながります。
ただし、長さの過不足は現地で調整することが困難となりますので、事前に細かな設計が必要となります。

5.4 試験・テスト

5.4.1 データセンター事業者での動作試験

データセンター事業者側で行う試験としては漏水試験、切り替え試験、パラメータ確認等があります。
しかし、データセンター事業者で動作試験を行うときにはサーバ側の負荷がかかっていない可能性があります。
この場合熱負荷がなく水温パラメータで試験を行うことが困難なため、一部はサーバ側で負荷がかかり次第での確認事項も発生します
(住系統の水温設定と確認は可能)。

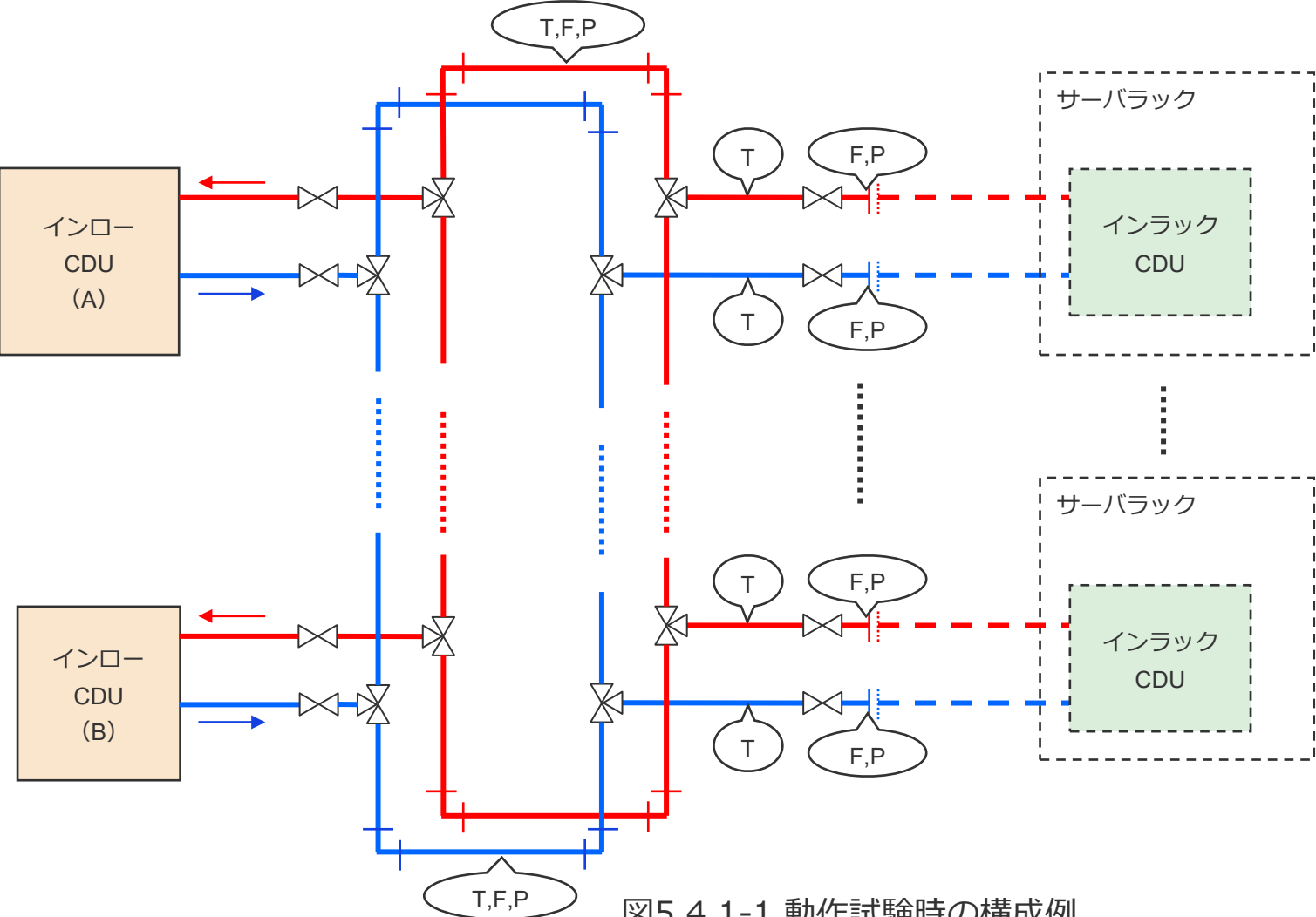


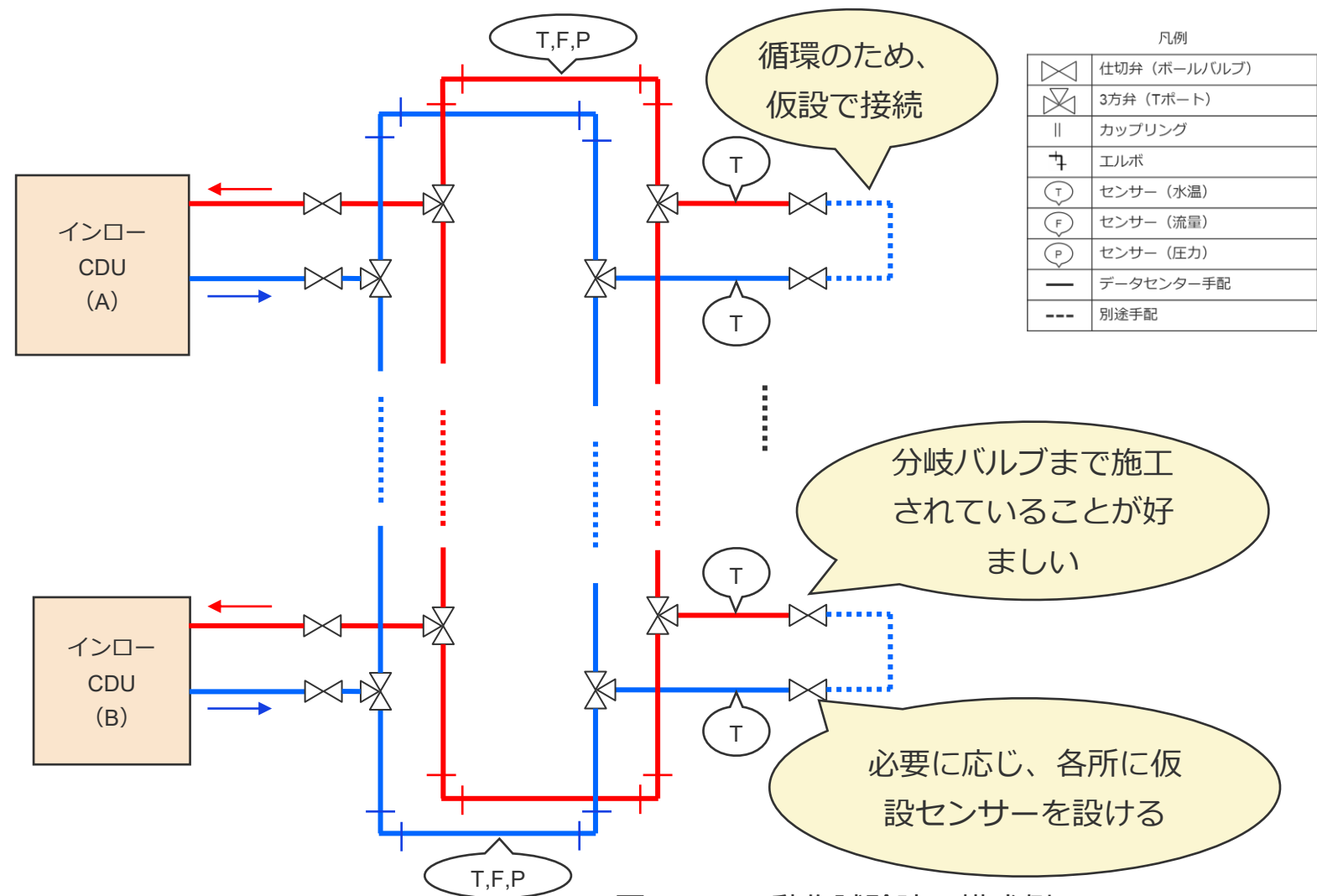
表5.4.1-1：凡例

	仕切弁（ボールバルブ）
	3方弁（Tポート）
	カップリング
	エルボ
	センサー（水温）
	センサー（流量）
	センサー（圧力）
	データセンター手配
	別途手配

図5.4.1-1 動作試験時の構成例

5.4.1 データセンター事業者での動作試験

- 漏洩試験
液体、もしくは気体（窒素ガスなど）を用いて漏洩試験を行います。
液体を用いる場合は想定している最大流量のパラメータを用いると実運用に近い形で試験を行うことができます。
気体の場合は液体を最大量流すときと同等以上の圧力をかけて試験します。

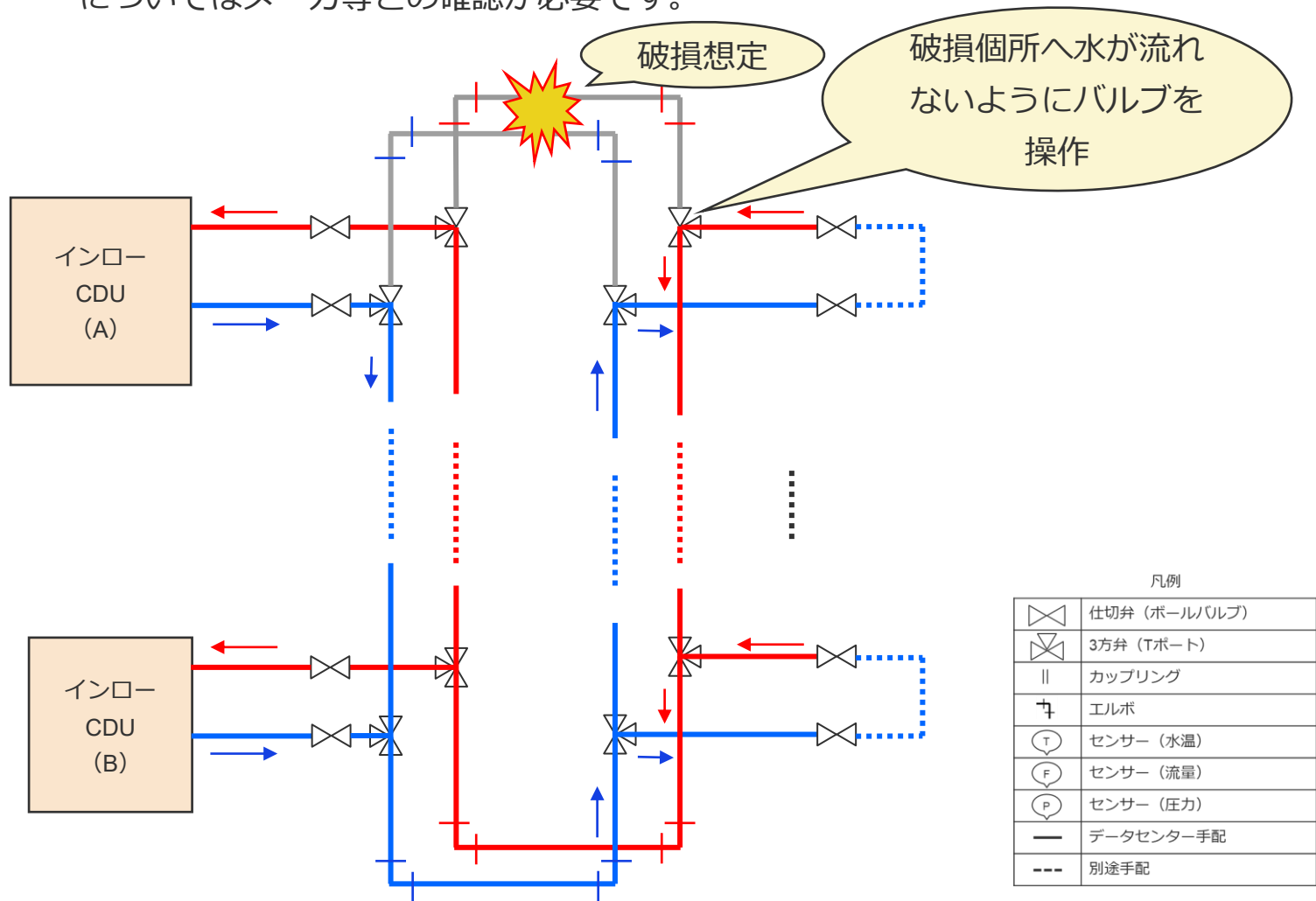


- 流量（液体の場合）
想定している最大流量を流す
- 圧力
想定している最大圧力をかける
- リーク確認
 - 漏洩が生じていないこと（各接合部が要注意）
 - 圧力低下が生じない事
ガス等の気体で試験を行う場合は JIS Z 2332の圧力変化法などを参照しながら実施する
 - 気体を用いる場合は漏れの音や石鹼水などを用いてリーク箇所を特定する
- 保持期間（試験期間）は最低30分を推奨
- 気体を用いて試験を行った場合でも、その後液体を用いて試験を行うことを推奨

図5.4.1-2 動作試験時の構成例

5.4.1 データセンター事業者での動作試験

- 切り替え試験
運用中の漏洩を想定して、安全に漏水箇所を切り離せるか試験します。
インローCDUで機器冗長を確保している場合は、その切り替え試験の実施も推奨されますが、熱負荷がない状態となるため、実施可否についてはメーカー等との確認が必要です。



- 全系統に液体を循環させる
- どこか一カ所で漏洩が発生したことを想定
- 対象の破損個所に液体が流れないようにバルブを操作する
- バルブ操作が完了したら、各所の流量計等を確認する
- パラメータがバルブ操作前と変わりなく、適切な値で推移することを確認する

図5.4.1-3 動作試験時の構成例

5.4.1 データセンター事業者での動作試験

これらの他にも試験項目としては以下のような内容が考えられますので、試験項目を策定する際の参考にしてください。

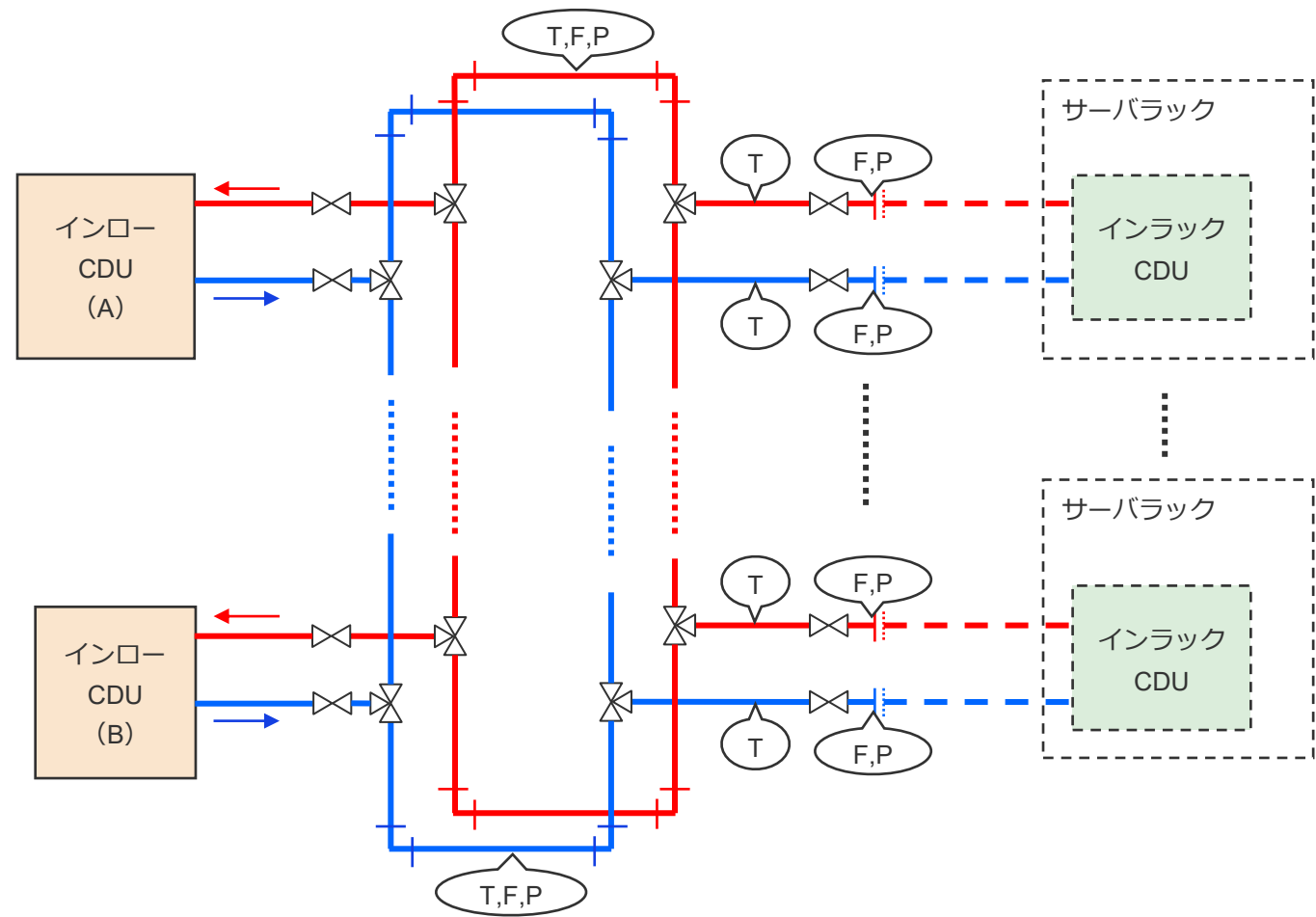
- インローCDU本体
 - 電源系統切り替え試験（A系/B系）
 - 内蔵センサー動作試験
 - 警報試験
 - 内蔵ポンプ系統切り替え試験（A系/B系）
 - 制御モード各種動作試験
- 各種センサー
 - センサー表示値の正常性確認
 - 中央監視システム（データベース）への取り込み確認
 - 漏水センサーを敷設している場合、発報確認
- 冷媒
 - 水質調査（薬剤等を用いて水質改善を行っている場合、短期的に数回実施を推奨）

バルブや機器の操作については、事前にマニュアル化や操作の訓練などを行うことが推奨されます。

動作試験が完了しても機器は停止させず、冷媒を継続して循環させることを推奨します（流量は下げても可）。
冷媒が循環せず長期間留まっていると、配管内の腐食速度増加や防錆剤効果減少などのリスクが生まれますので注意が必要です。

5.4.2 サーバラックユーザとの連動試験

ユーザにてサーバの実装等が完了し、稼働が始まれば還系統の水温も上昇するため熱交換の試験を行うことができます。また、可能であればサーバ機器が稼働する前に、インラックCDUへ適切な水温、流量等が送れることを確認しましょう。サーバ機器の実装・稼働が段階的に行われる場合は、熱負荷が一定増えるごとに冷却能力等の確認を行いましょう。



凡例	
	仕切弁（ボールバルブ）
	3方弁（Tポート）
	カップリング
	エルボ
	センサー（水温）
	センサー（流量）
	センサー（圧力）
	データセンター手配
	別途手配

- サーバ機器が稼働した状態で、想定した水温、流量等でインラックCDUへ送水できる
- 送水温が上昇し続けない（適切に熱源等で冷却できている）
- インラック二次側の冷媒がユーザが想定しているパラメータで循環できる（チップ等が適切に冷却できている）
- インラックCDU接続箇所周辺で漏水が生じていない

図5.4.2-1 動作試験時の構成例

IT機器ベンダはこの連動試験をもって検収とします。 ※詳細は契約時の検収条件によります

6 運用・管理

6.1メンテナンス

6.1.1 各種メンテナンスと保守部品の確保

CDUにおいては基本的にはメンテナンスフリーなため、定期的にパーツを交換したりする必要はないですが、メーカー推奨の定期確認事項がある場合は参考にして計画を立てます。

例：外観確認、異音確認、固定状況の確認、漏水目視確認、ケーブル・配管接続状況、各種パラメータの正常性確認、ファームウェアのアップデート、水質確認、アラート有無の確認、アラートが発生した際の対応、フィルタの清掃、等

中でも定期的に確認したほうが良い点としては、水質確認とフィルタ清掃、アラート有無の確認になります。

- 水質確認
基本的には半年の1回、1年に1回程度のスパンで確認します。
確認の際は専門の分析機関への依頼を推奨します。
もしくは、水質確認項目によってはセンサーを導入することでリアルタイムに水質を検査することができます（項目によっては対応不可）。
水質改善を図るための薬剤等を導入した場合、水質パラメータが安定するまでの間は週に1度や月に1度のペースで確認を行うと安全です。
- フィルタ清掃
メーカーによってはフィルタ清掃のアラートが発報するので、それに準じて対応します。
アラートがない場合、最初は月に1度などのペースで行い、様子を見ながら期間を延ばしていくことを推奨します。
- アラート有無
重要なアラートが発報しているときに万が一の見逃しがないか等を確認します。
日に1度以上の確認を推奨します。

その他の項目には監視ポイントの取り込み状況に応じて、遠隔・現地にて適宜状況の確認を行うと良いです。
また、頻度は多くないと思われますが配管結露についても現地にて随時確認できると良いでしょう。

各種機器の部品などは故障してもすぐに交換できるよう保守部品を確保しておくとい良いでしょう。
特に、修理の緊急性が高いCDUについては内部の部品を可能な限り1セット確保できると理想的です。

7 環境・持続可能性

7.1 エネルギー効率の計測

7.1.1 PUE（Power Usage Effectiveness）とWUE（Water Usage Effectiveness）の測定

従来のデータセンターで広く活用されてきたPUEは液冷方式のデータセンターでも適用することは可能です。

$$PUE = \frac{\text{施設全体の消費電力}(kWh)}{\text{IT 機器消費電力}(kWh)} \quad ※PUEの値が1に近いほど高効率$$

液冷方式のデータセンターでは新たにCDUを用いることになりますが、この消費電力をIT機器消費電力に含めるかは業界全体の動向を追う必要があります。

1つの見解としては、データセンター事業者で用意するインローCDUはIT機器に含めず、ユーザにて用意するインラックCDUはIT機器に含める、という計測の考えです。

CDUをIT機器と捉えるかは様々な考え方があると思われますが、インラックCDUはサーバ内機器として計測してしまうことで実現性は増すと考えられます（IT機器に含めない場合、インラックCDUだけサーバラック内機器の計測データから外す必要があります）。

また、「水」という観点ではWUEという指標も液冷方式のデータセンターでは用いられることがあります。

$$WUE = \frac{\text{施設全体の水使用量}(\ell)}{\text{IT 機器消費電力}(kWh)} \quad ※WUEの値が1に近いほど高効率$$

グローバル（米国など）では冷却塔の導入などが一般的で、昨今では水使用量が問題になりWUEが用いられることがありますが、日本国内ではチラーやドライクーラーなどを用いることが多く、水の消費は基本的に発生しないためあまり用いられることはありません。

そのため、日本国内では基本的に一度注入した液体が循環し続ける構成のため、WUEの算出に適していない可能性があります。

8 今後の展望

8.1 今後の展望および改版計画

今後は様々な実証を通じてデータの取得、解析、改善を図り、より定量的な数値を示して液冷対応商用データセンターの設計・構築等の指針を示せるよう目指していきます。

また、世界的に見ても日々技術要素が発展している分野でもあるため、それらに対するアップデートも行いう事で市場に沿った内容で作りあげていければと考えています。

今後のレファレンスモデル改版計については以下のスケジュールで予定しています。

版	作成予定日	公開日	更新内容
1.0	2024/10/31	—（公開なし）	- 初版 - 設計における考え方を反映
2.0	2026/08/31	2026/09/25	現行版 本研究内で構築した液冷対応コンテナ型データセンターの実績や知見を反映 市場調査等により得られた技術要素等を反映
3.0	2028/08/31	公開前	これまでの実証実験で得られた技術、ノウハウ、データを活用し、次世代商用データセンターに求められる要素と技術・運用面を照合した汎用的なデータセンターモデルとして作成予定

※予定しているスケジュール以外での更新・公開も適宜実施していく予定です



日本のインターネットは1992年、IIJとともに始まりました。以来、IIJグループはネットワーク社会の基盤をつくり、技術力でその発展を支えてきました。インターネットの未来を想い、新たなイノベーションに挑戦し続けていく。それは、つねに先駆者としてインターネットの可能性を切り拓いてきたIIJの、これからも変わることのない姿勢です。IIJの真ん中のIはイニシアティブ

IIJはいつも始まりであり、未来です。

本書には、株式会社インターネットイニシアティブに権利の帰属する秘密情報が含まれています。本書の著作権は、当社に帰属し、日本の著作権法及び国際条約により保護されており、著作権者の事前の書面による許諾がなければ、複製・翻案・公衆送信等できません。本書に掲載されている商品名、会社名等は各会社の商号、商標または登録商標です。文中では™、®マークは表示していません。本サービスの仕様、及び本書に記載されている事柄は、将来予告なしに変更することがあります。