ビルディング・オートメーション協会令和４年度オンラインセミナー
エネルギー　つくる・ためる・上手につかう

ビルで熱をためる理由とその効果

2023年3月10日

東京電機大学　建築学科　百田真史

ビルで熱をためる理由とその効果

～蓄熱に関する様々な誤解(蓄熱小ネタ)～

・蓄熱はもう古い？

・中国では氷蓄熱が主体！？

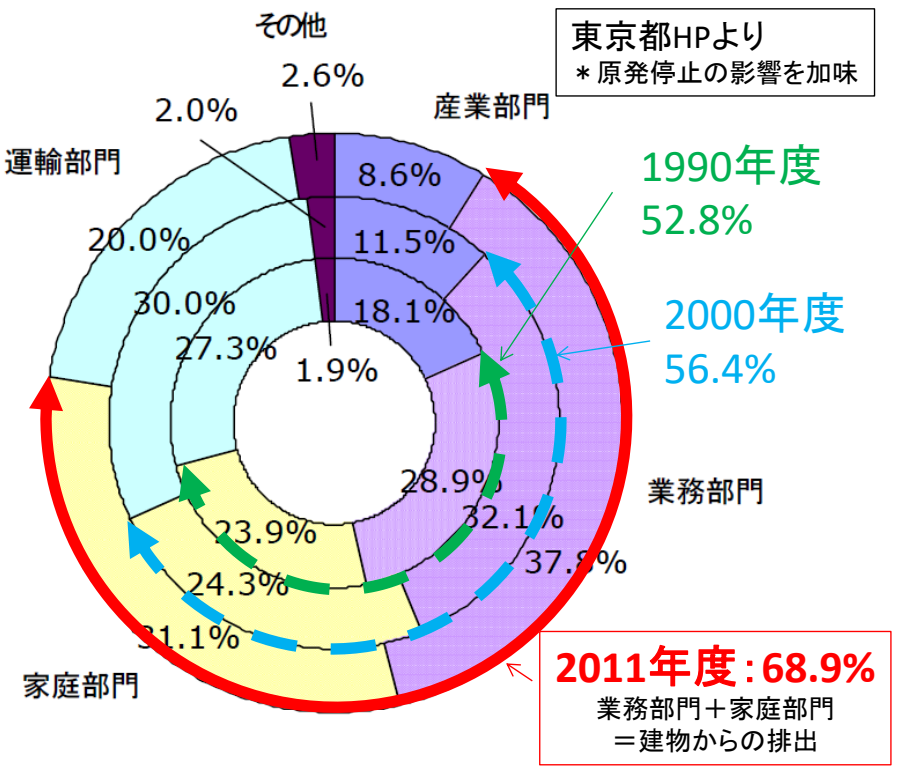
・蓄熱槽はロスが大きい？

・蓄熱槽×インバータで省エネ？

・教科書に載っていないインバータ制御？

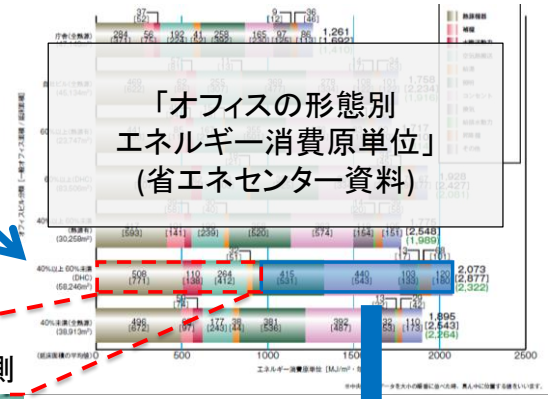
ビル(業務用建物)におけるエネルギー消費構造

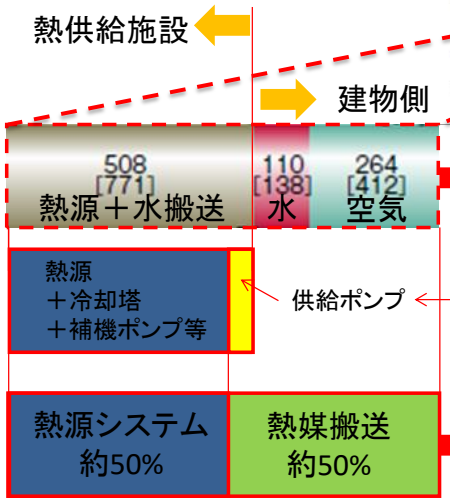
東京都のCO2排出の４割はオフィスから（空調分はその半分の２割）



空調用エネルギーは約半分

研究対象に近い建物
①オフィスでの空調用エネルギーは約50%





②業務用空調における熱搬送エネルギーは約50%
(純粋に熱源機以外なら50%以上)

①と②から、熱搬送エネルギーは全体の1/4

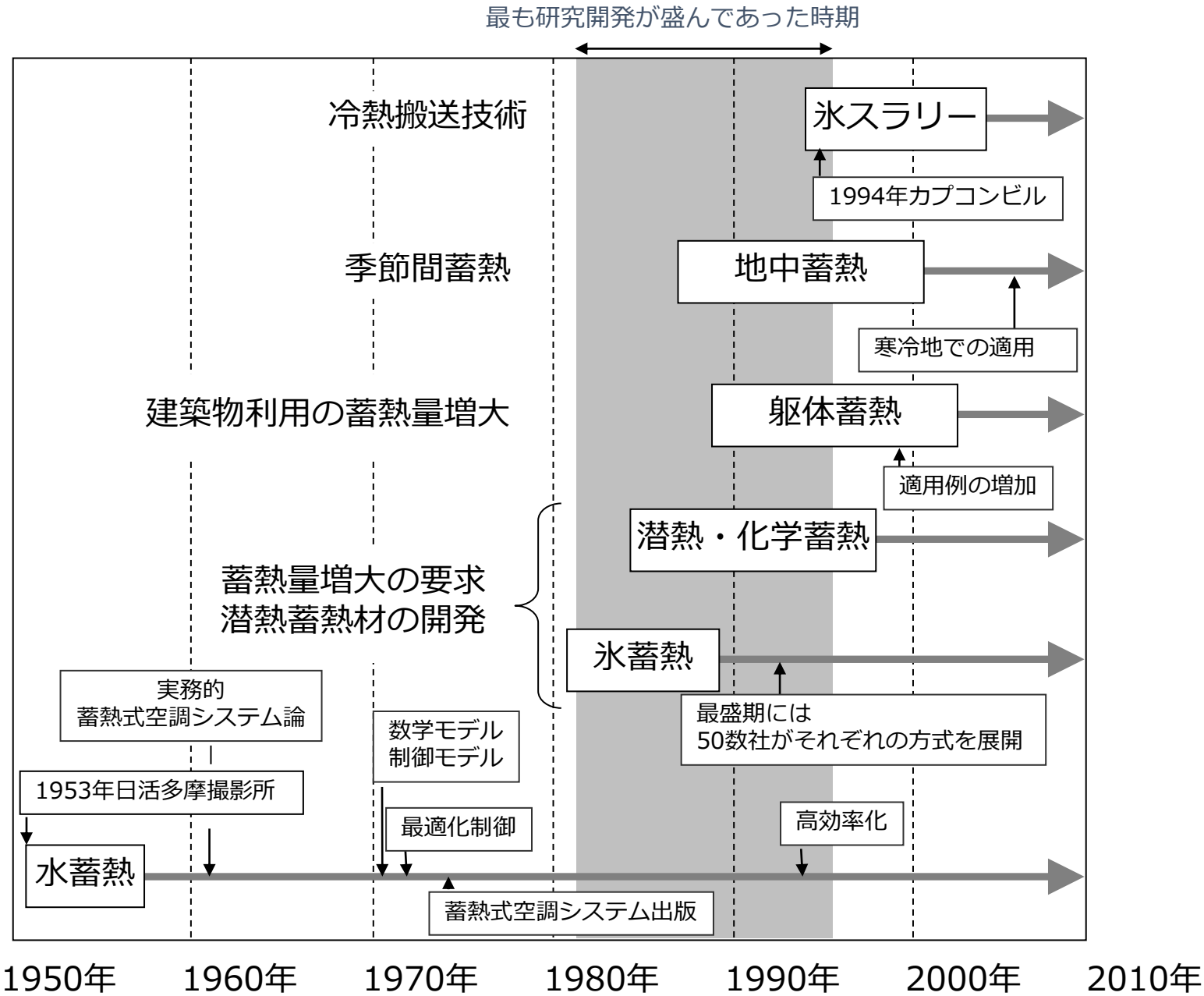
⇒空調が占める割合は大きい
⇒空調の省エネが課題

ビルで熱をためる理由とその効果

～蓄熱に関する様々な誤解(蓄熱小ネタ)～

- 蓄熱はもう古い？
  ＞最初は仮想熱源から
- 中国では氷蓄熱が主体！？
- 蓄熱槽はロスが大きい？
- 蓄熱槽×インバータで省エネ？
- 教科書に載っていないインバータ制御？

日本における蓄熱技術開発・導入の系譜



ビルで熱をためる理由とその効果

～蓄熱に関する様々な誤解(蓄熱小ネタ)～

・蓄熱はもう古い？

・中国では氷蓄熱が主体！？
＞低温利用を前提なら実は失敗しない

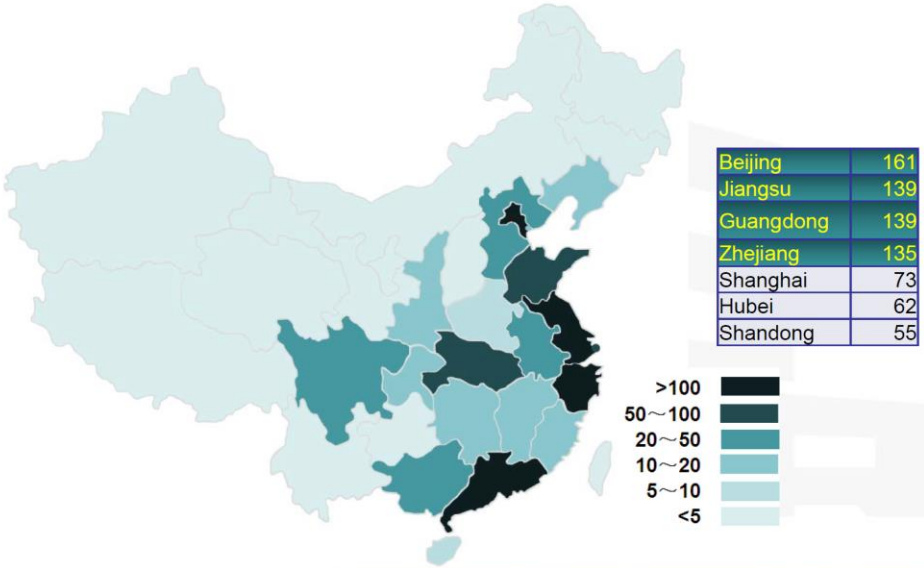
・蓄熱槽はロスが大きい？

・蓄熱槽×インバータで省エネ？

・教科書に載っていないインバータ制御？

中国における蓄熱技術導入状況

Distribution of TES applications

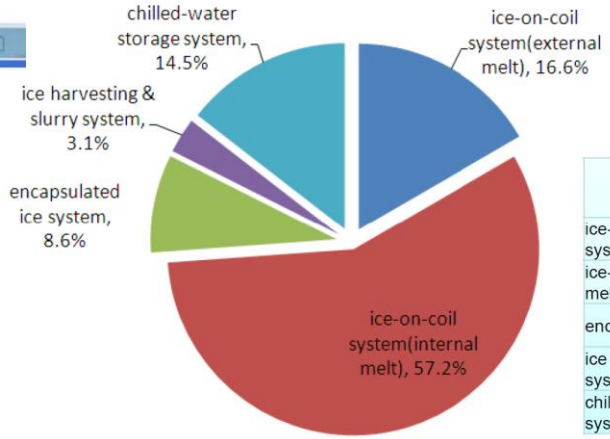


Beijing	161
Jiangsu	139
Guangdong	139
Zhejiang	135
Shanghai	73
Hubei	62
Shandong	55

China Academy of Building Research

都市部を中心に
電力ピーク対策として導入

Capacity of TES by category (latest 5 years)



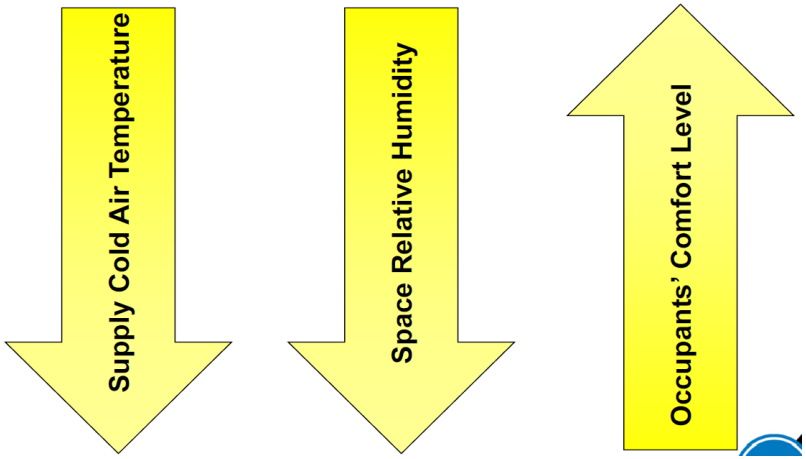
	Designed Cool Storage Capacity (kWh)
ice-on-coil system(external melt)	1,886,527
ice-on-coil system(internal melt)	6,485,882
encapsulated ice system	972,123
ice harvesting & slurry system	347,840
chilled-water storage system	1,643,941

The capacity of the cool storage projects between March 2011 and June 2015 is about 12.3 million kWh.

China Academy of Building Research

約85%が氷蓄熱
⇒制御の簡便性

Comfort & Indoor Air Quality



低湿度により快適性向上

Low Temperature Air System

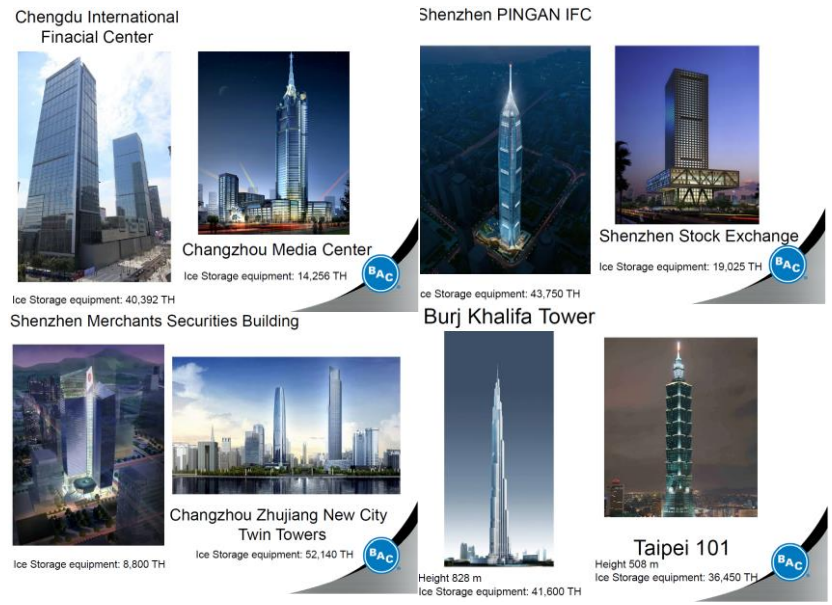
- Higher indoor air quality and comfortable satisfaction.
- Low initial investment.
- Reduce energy consumption and Operational Costs.
- Minimize the impact on the environment.

コスト削減＋省エネ

Thermal Storage Incentives in China

	On peak (RMB/kw·h)	Mid-peak (RMB/kw·h)	Off-peak (RMB/kw·h)	Peak vs. Offpeak Rate Differential
Beijing	1.4409	0.8395	0.3818	3.8 : 1
Shanghai	1.287	0.817	0.305	4.2 : 1
Hangzhou	1.367	1.074	0.571	2.4 : 1
Guangzhou	0.9875	0.61	0.3197	3.1 : 1
Shenzhen	1.0955	0.7430	0.2990	3.7 : 1
Wuhan	1.1606	0.6448	0.3095	3.7 :1

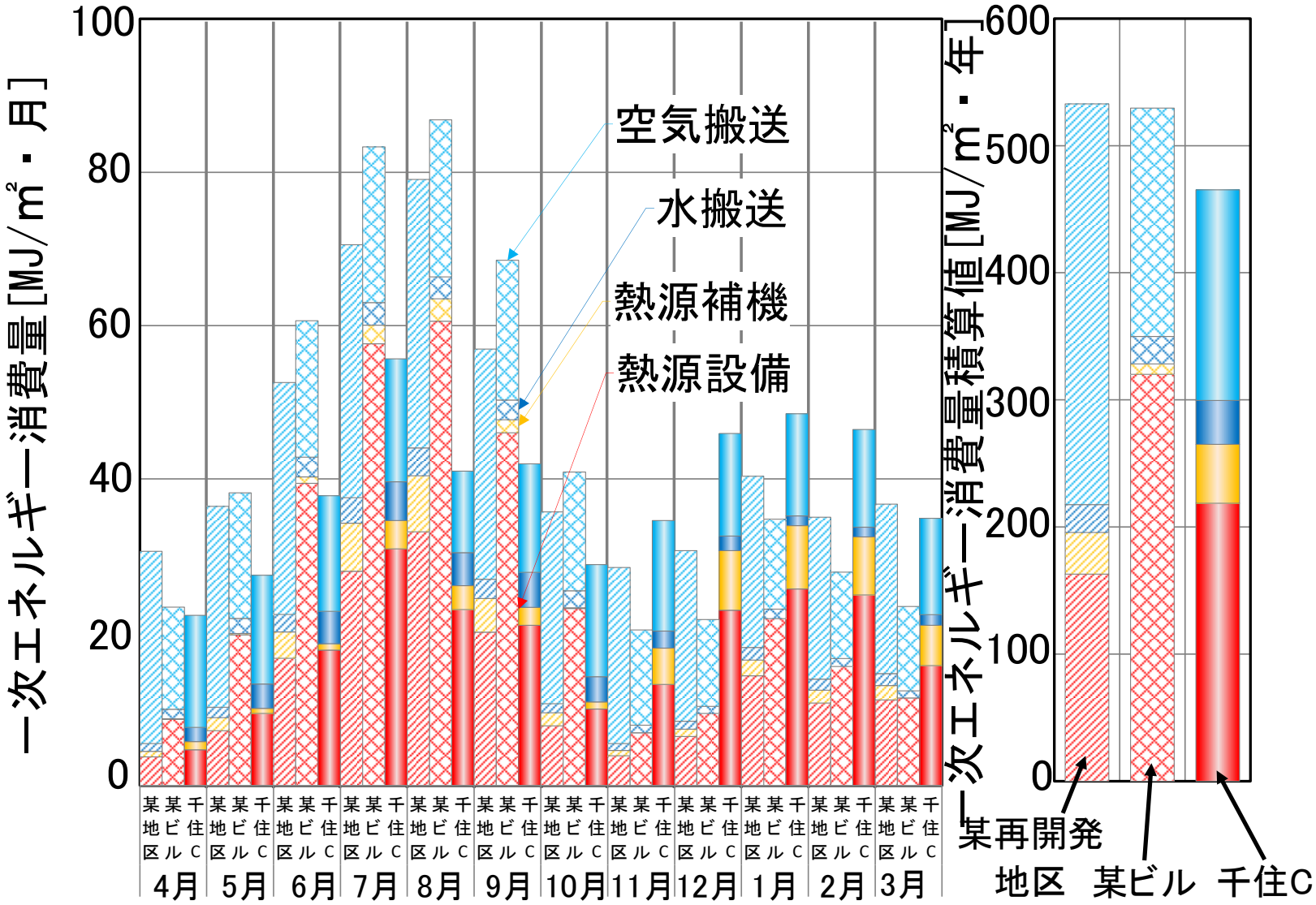
昼夜の電力コスト差が大



大規模事例が豊富

低温利活用の効果(国内トップ事例)

月・年別の一次エネルギー換算消費量の他建物との比較検討



単体効率ではなくシステム効率が重要

ビルで熱をためる理由とその効果

～蓄熱に関する様々な誤解(蓄熱小ネタ)～

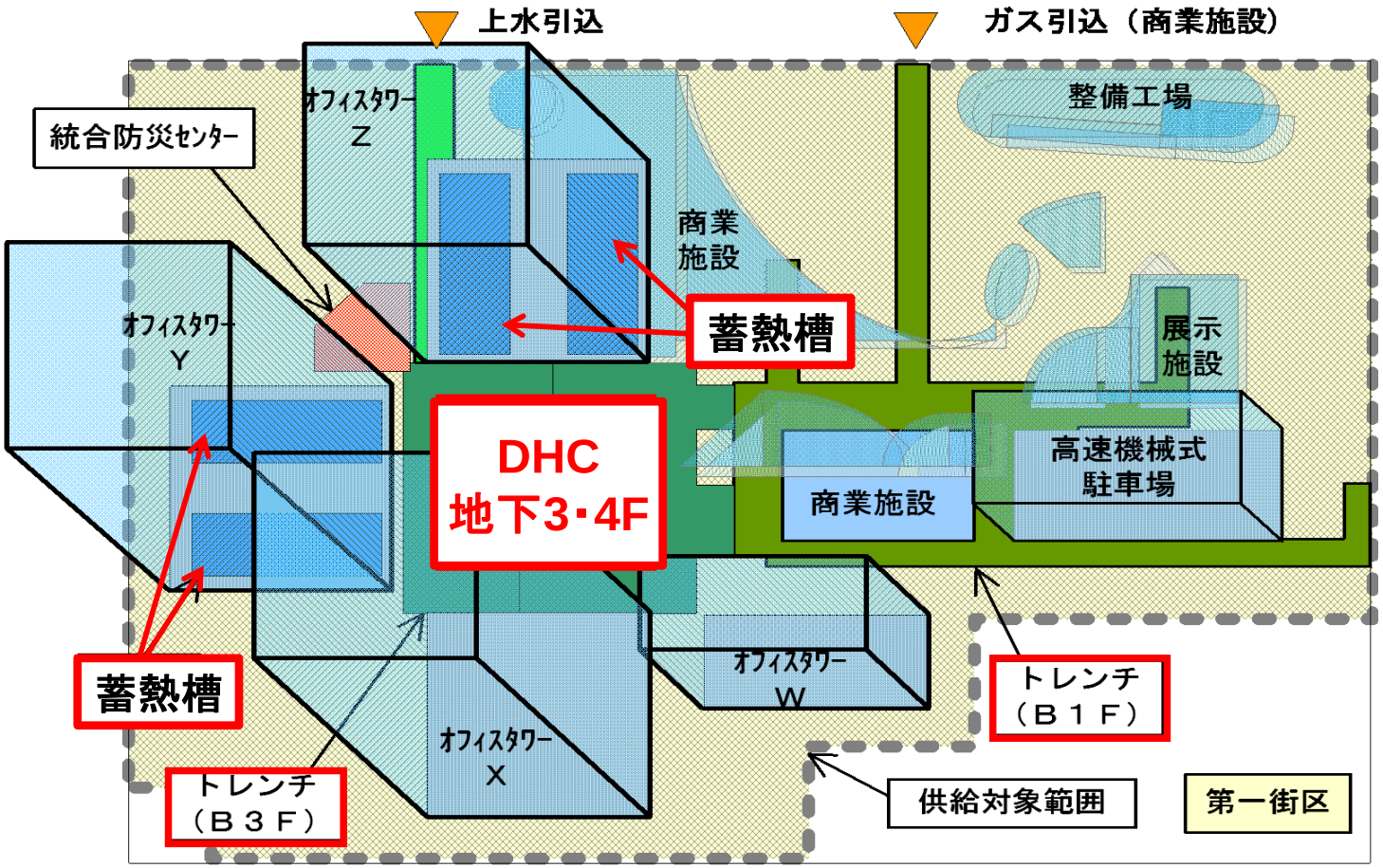
- 蓄熱はもう古い？
- 中国では氷蓄熱が主体！？
- 蓄熱槽はロスが大きい？
  ＞ロスが小さい実事例の紹介＋劣化の実態
- 蓄熱槽×インバータで省エネ？
- 教科書に載っていないインバータ制御？

某地域冷暖房の事例①
大規模水蓄熱槽

- 敷地面積約8ha,延床面積約67万m^{2}の大規模市街地再開発
- 2001年4月にオープン
- 業務・商業施設等（街区）、晴海アイランド地区熱供給センター（DHC）で構成
  ⇒対象はDHCと需要家建物
- 開発の初期段階から街ぐるみのライフサイクルマネジメントを実践

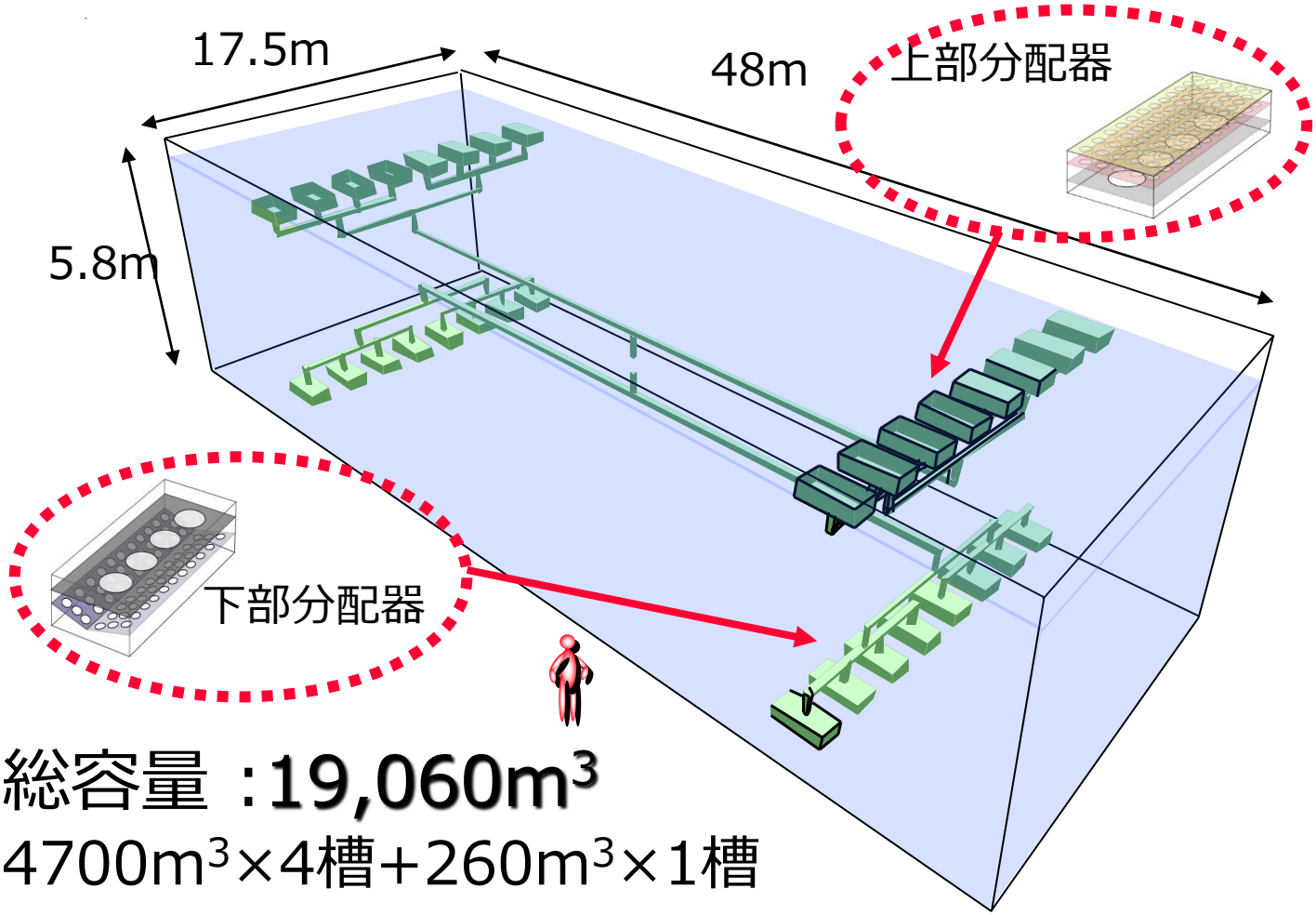
某地域冷暖房の事例①

DHCと蓄熱槽の配置



需要家側に囲まれた負荷重心にDHCプラントが位置

某地域冷暖房の事例①



総容量：**19,060m³**

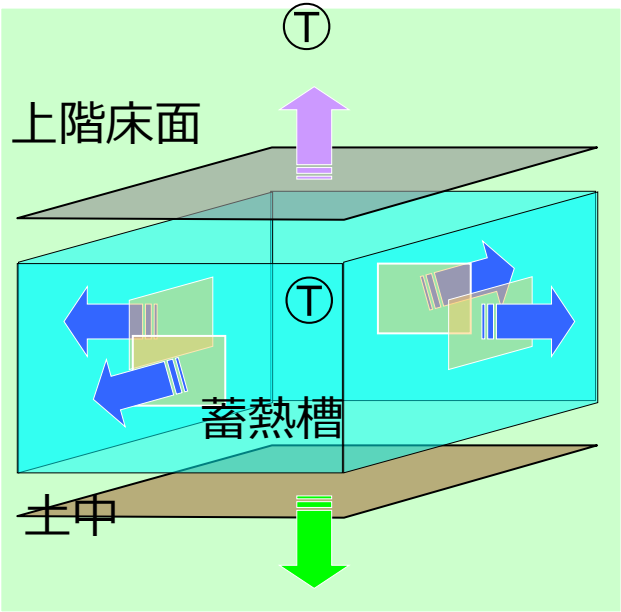
4700m³×4槽+260m³×1槽

良好な温度成層を形成するために、分配器を新規開発した

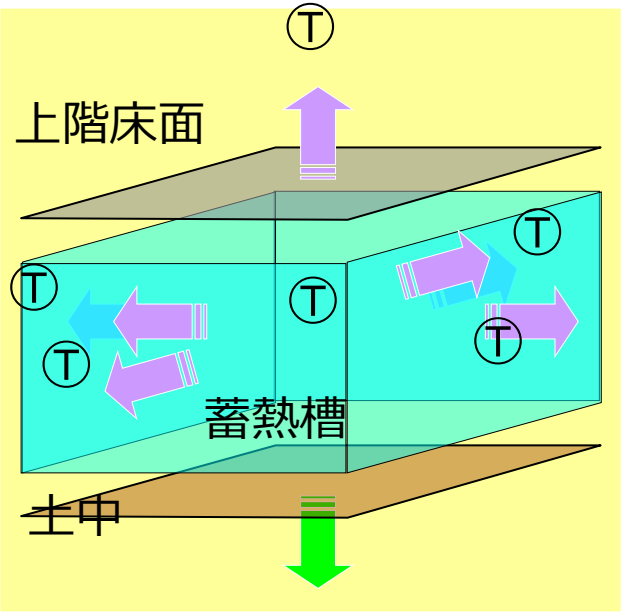
→　90%以上の高い蓄熱槽効率

某地域冷暖房の事例①
蓄熱槽のコミッショニング（熱損失の検証）

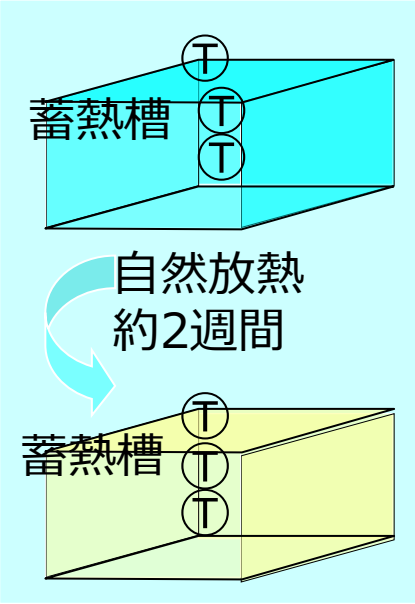
①熱流計主体で算出



②温度差・熱貫流率から算出



③水温変化から逆算



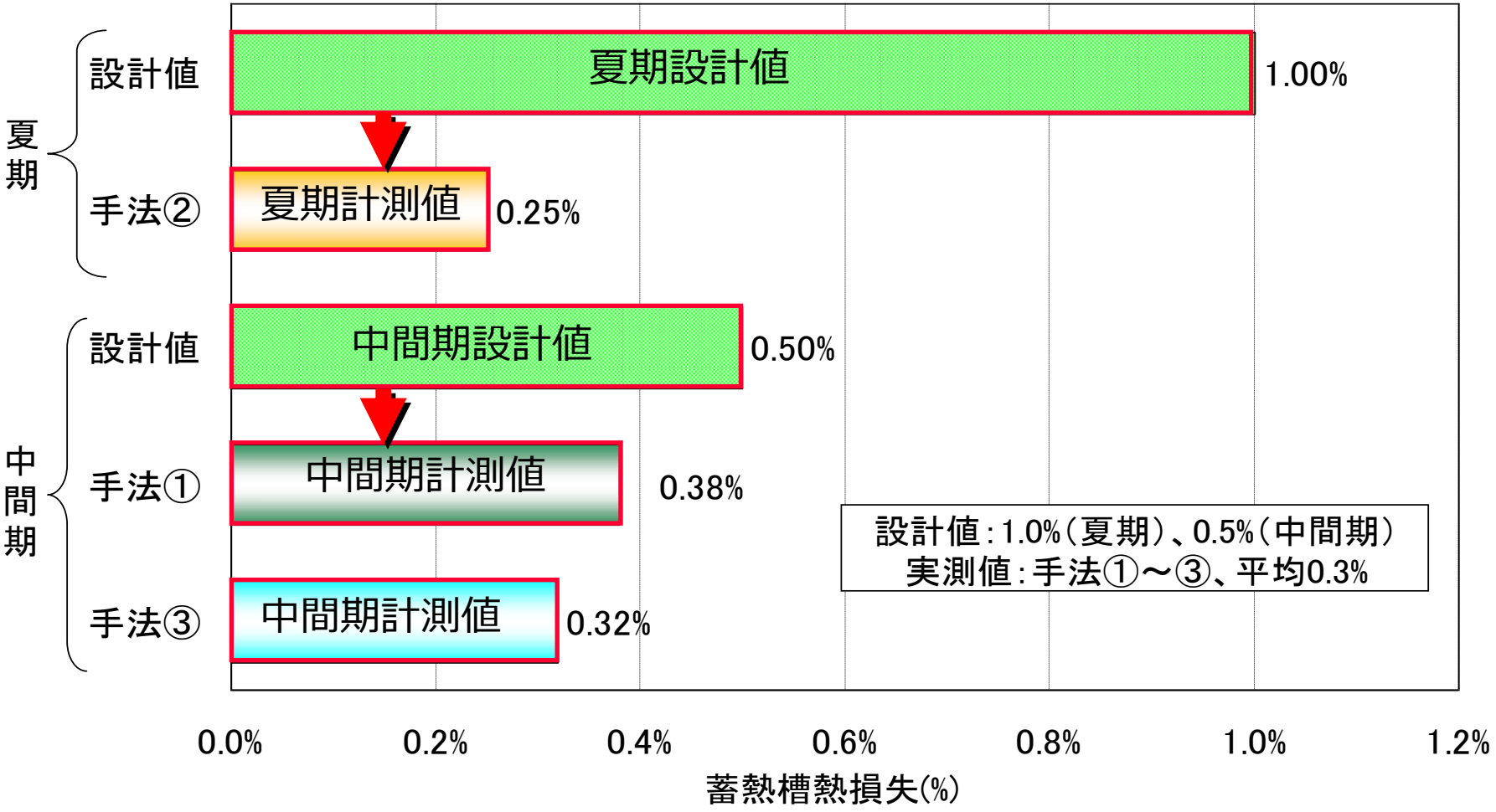
：熱流計(　　)による計測

：温度計（　Ⓣ　）と熱貫流率により算出

：深さ方向で仮定した土中温度より算出

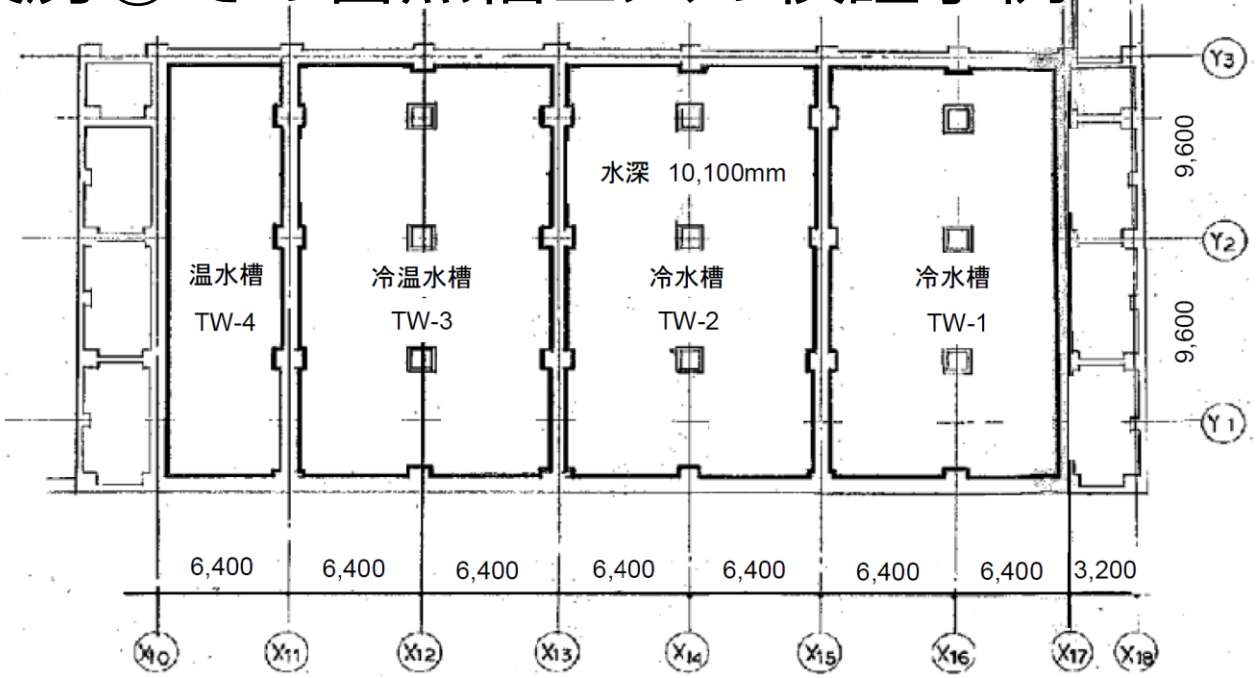
Ⓣ ：蓄熱槽計測用pt群
Ⓣ　（上下10点）
Ⓣ　中央監視にて計測

某地域冷暖房の事例①
蓄熱槽のコミッショニング（熱損失の検証）



各ケースとも、蓄熱槽の熱損失はきわめて小さい値となった

某地域冷暖房②での蓄熱槽ロスの検証事例



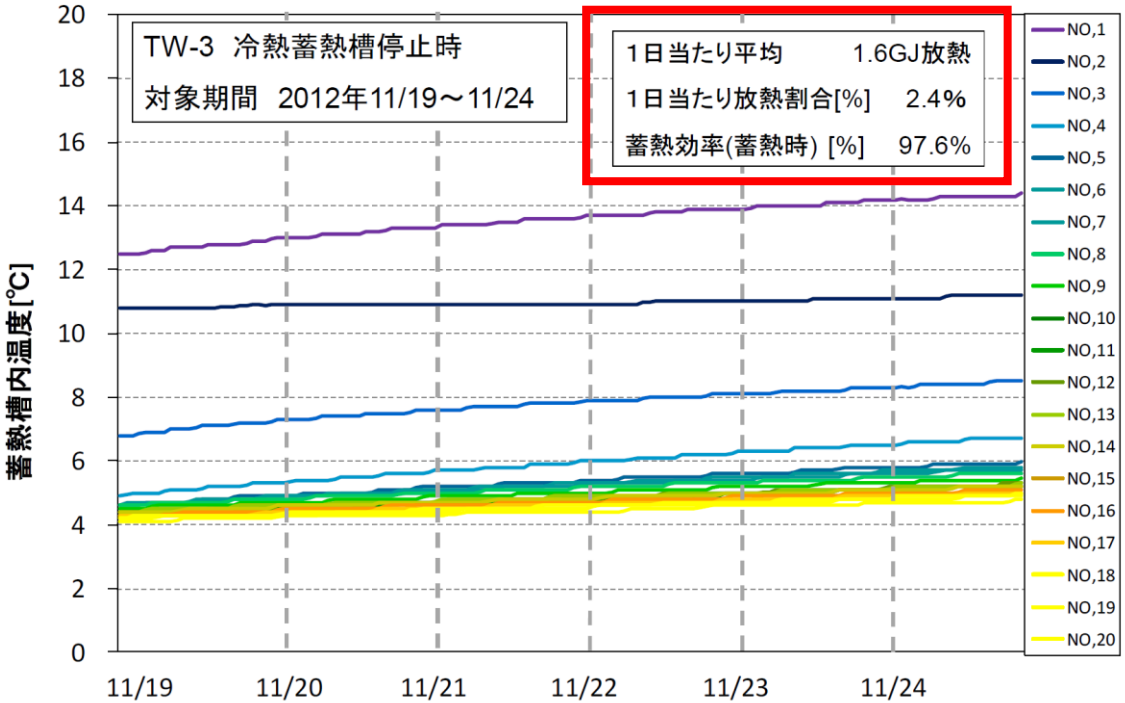
蓄熱槽配置図

蓄熱槽概要

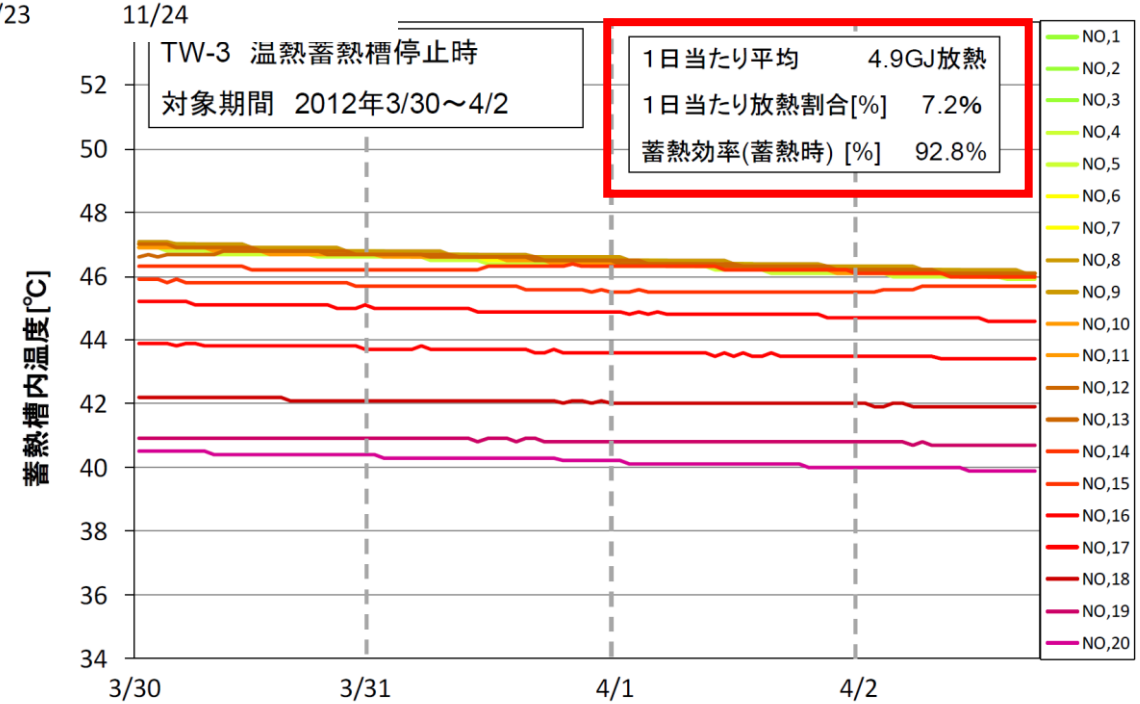
機器番号	TW－1	TW－2	TW－3	TW－4
機器名称	冷水槽	冷水槽	冷温水槽	温水槽
蓄熱槽容量	2300㎥	2300㎥	2300㎥	1100㎥
運用温度差	4℃→11℃	4℃→11℃	4℃→11℃ 40℃→47℃	40℃→47℃
蓄熱容量(GJ)	冷水67GJ	冷水67GJ	冷水67GJ 温水67GJ	温水32GJ

蓄熱槽保温仕様

場所	壁	独立柱・梁	床	天井
仕様	プライマー 0.3kg/mf LSPペースト 5mm 発砲ポリスチレン50mm パワーコート 1.5mm パワークロス0.38mm パワートップ 0.3kg/mf	プライマー 0.3kg/mf パワーコート 0.5mm パワートップ 0.3kg/mf	プライマー 0.3kg/mf LSPペースト 発砲ポリスチレン50mm パワーコート 1.5mm パワークロス0.38mm パワートップ 0.3kg/mf	プライマー 0.3kg/mf LSPペースト 発砲ポリスチレン50mm パワーコート 0.5mm パワートップ 0.3kg/mf



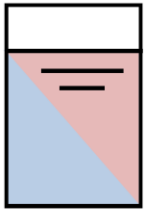
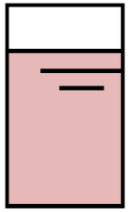
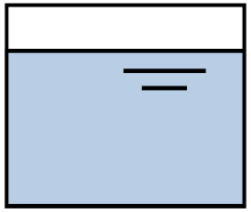
冷熱蓄熱槽停止時の
温度状況
⇒放熱ロス2.4%(日)



温熱蓄熱槽停止時の
温度状況
⇒放熱ロス7.2%(日)

某地域冷暖房③での蓄熱槽ロスの検証事例

蓄熱槽諸元

蓄熱槽番号	T-1	T-2	T-3
			
機器名称	温度成層型蓄熱槽	温度成層型蓄熱槽	温度成層型蓄熱槽
蓄熱槽容量	300㎥	170㎥	1,050㎥
用途	冷温水槽	温水専用	冷水専用
運用温度差	3℃→12℃ 40℃→50℃	40℃→50℃	3℃→12℃
蓄熱容量[GJ]	冷水 13GJ　温水 14GJ	温水 8GJ	冷水 44GJ

自然放熱割合算出方法

時間	HP蓄熱 熱量	放熱系統 1次熱量	放熱系統 2次熱量	残蓄量
h-1	1928	1341	1246	7418
h	0	0	0	7427
h+1	0	0	0	7432
h+2	0	0	0	7434
h+3	0	0	0	7410
h+4	0	0	0	7400
h+5	0	857	869	7435

自然放熱時間条件

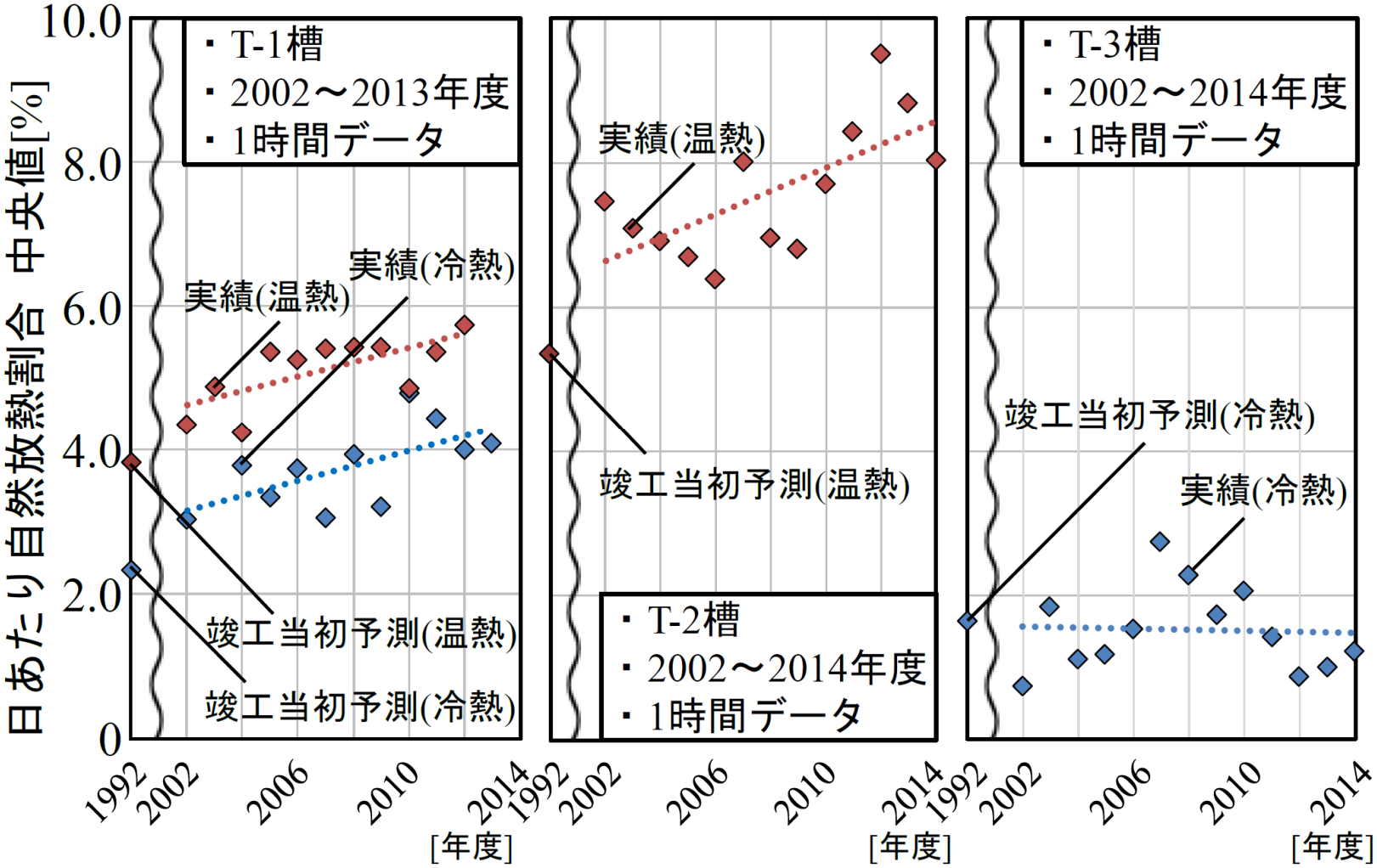
- 蓄熱槽における熱の出入りが5時間以上なし
- 残蓄量が理想満蓄量の50%以上（時間hの値）

※理想満蓄量＝設計温度差×蓄熱槽容量×比熱

設計基準温度　冷水利用時:13℃　温水利用時:39℃

自然放熱割合＝{(時間h:残蓄量)-(時間h+4:残蓄量)}/(時間h:残蓄量)/5(h)　(式1)

自然放熱割合経年変化予測



蓄熱槽の大きさによってロス率・経年変化は異なる
⇒大きい方が良い

ビルで熱をためる理由とその効果

～蓄熱に関する様々な誤解(蓄熱小ネタ)～

・蓄熱はもう古い？

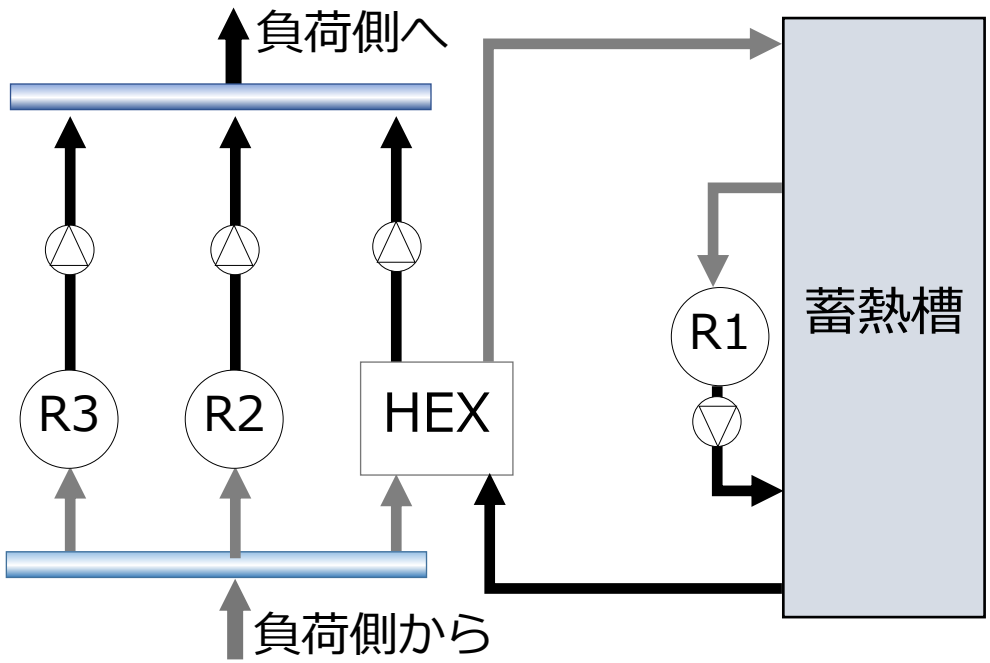
・中国では氷蓄熱が主体！？

・蓄熱槽はロスが大きい？

・蓄熱槽×インバータで省エネ？
＞蓄熱システムは省エネシステム

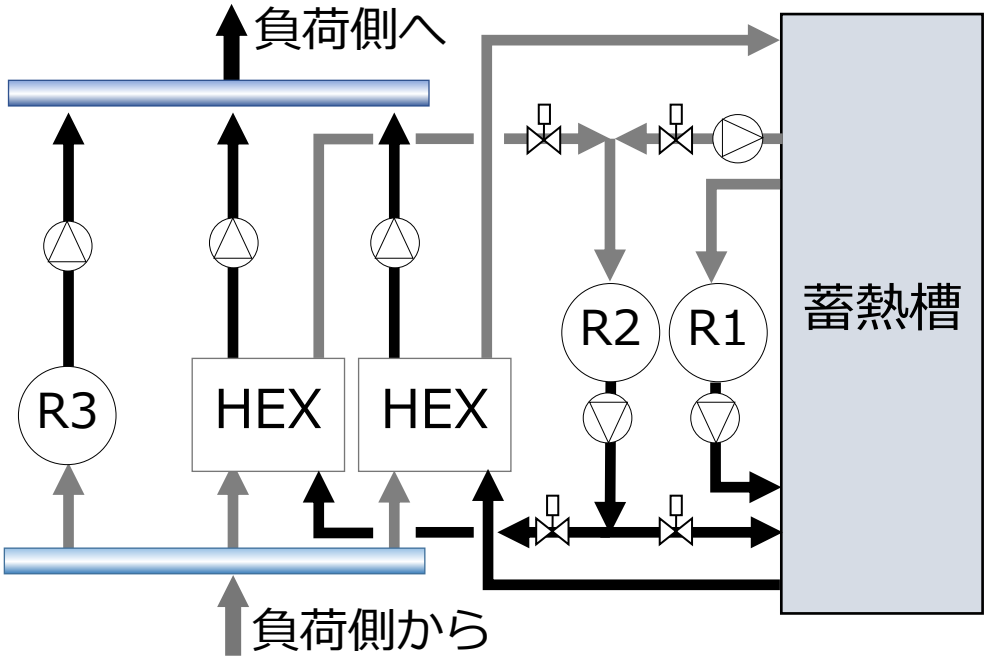
・教科書に載っていないインバータ制御？

蓄熱システム×インバータ制御の可能性
基本とする蓄熱システム(基本システム)

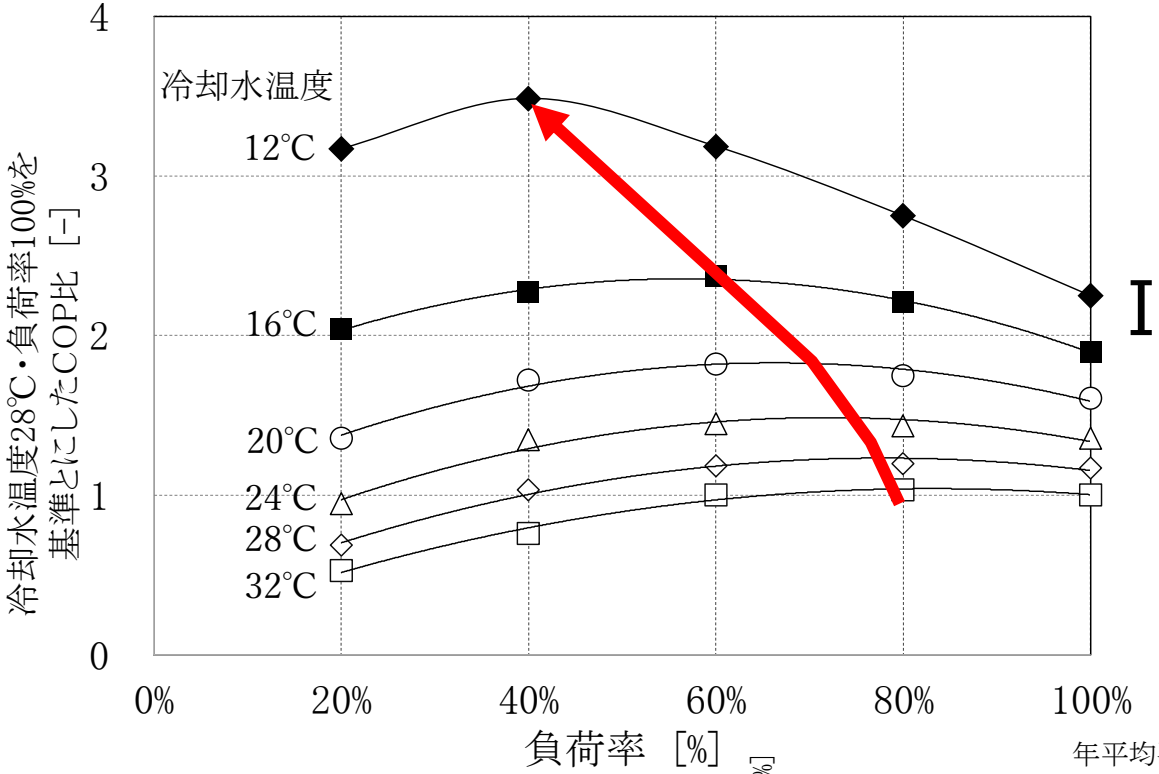


・蓄熱槽に対して冷凍機(R1)が接続され、夜間に蓄熱する
・昼間はHEXを介しての放熱で負荷のベースを賄う
　（ピーク時間帯に集中放熱せずに平準化する）
・不足分は非蓄熱系統である2台の冷凍機(R2・R3)を稼働させて賄う

蓄熱システム×インバータ制御の可能性
提案する蓄熱システム(提案システム)

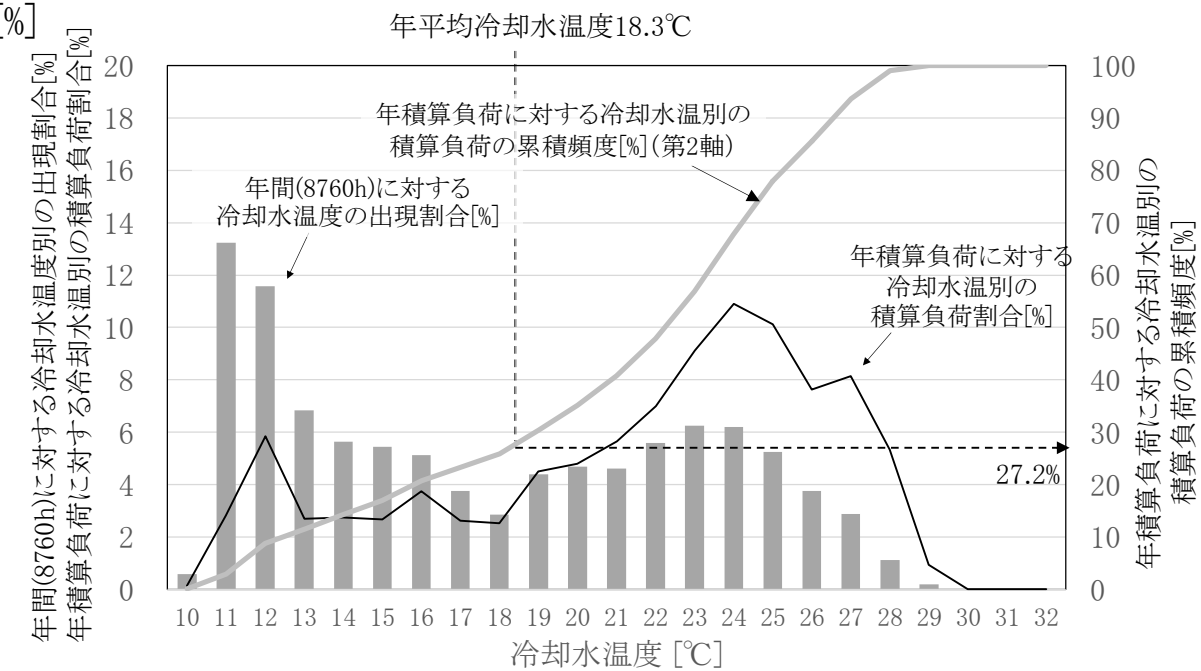


・基本システムに補機（HEX・ポンプ）と配管を増設して経路を追加
⇒システムの主体である冷凍機と蓄熱槽は基本システム同様
・提案システムでは、蓄熱槽に対して2台の冷凍機(R1・R2)を接続
⇒R1は基本システム同様に蓄熱後に放熱することを基本
⇒蓄熱槽に対して蓄熱しつつ放熱する運用も考慮

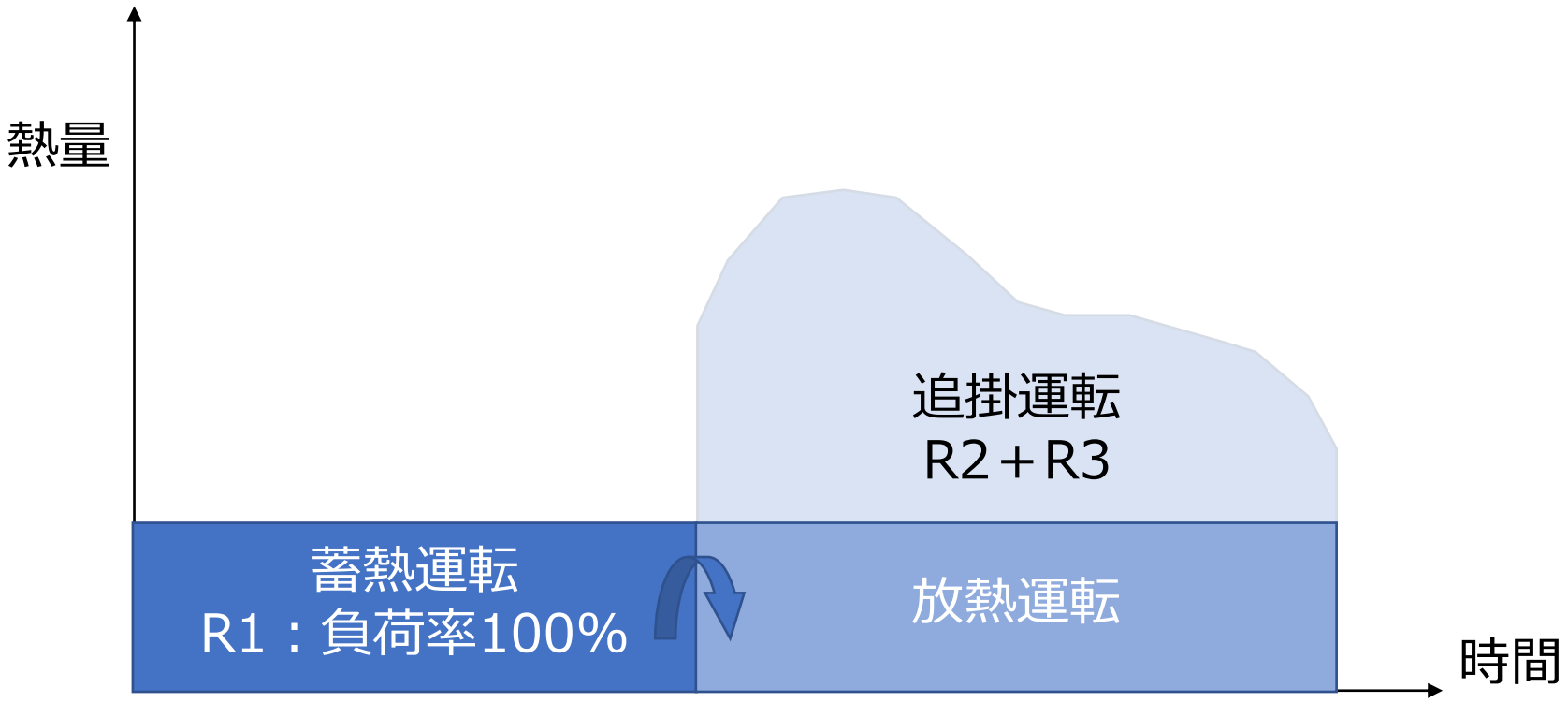


INV冷凍機特性の活用
低負荷時の高COP

低温冷却水の活用

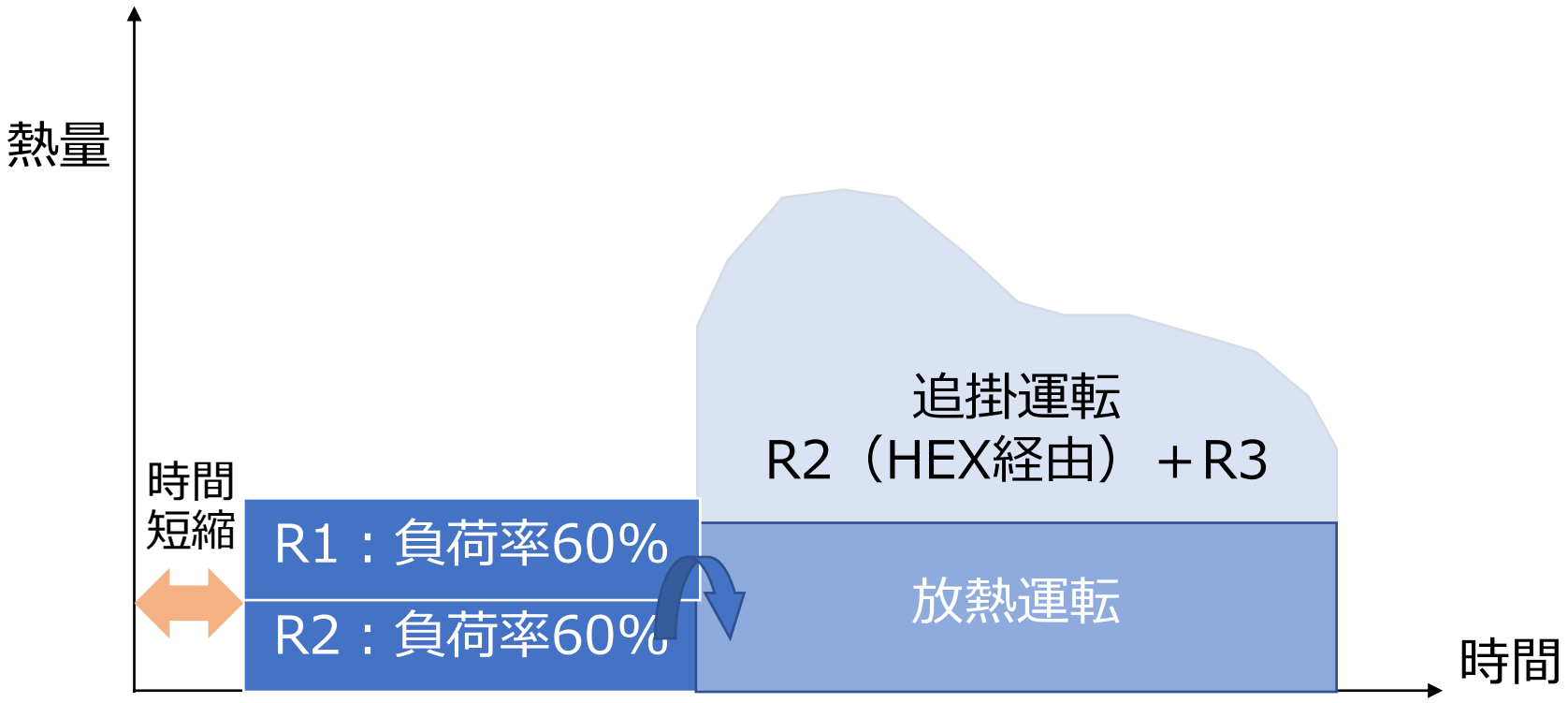


基本システムの運用概念



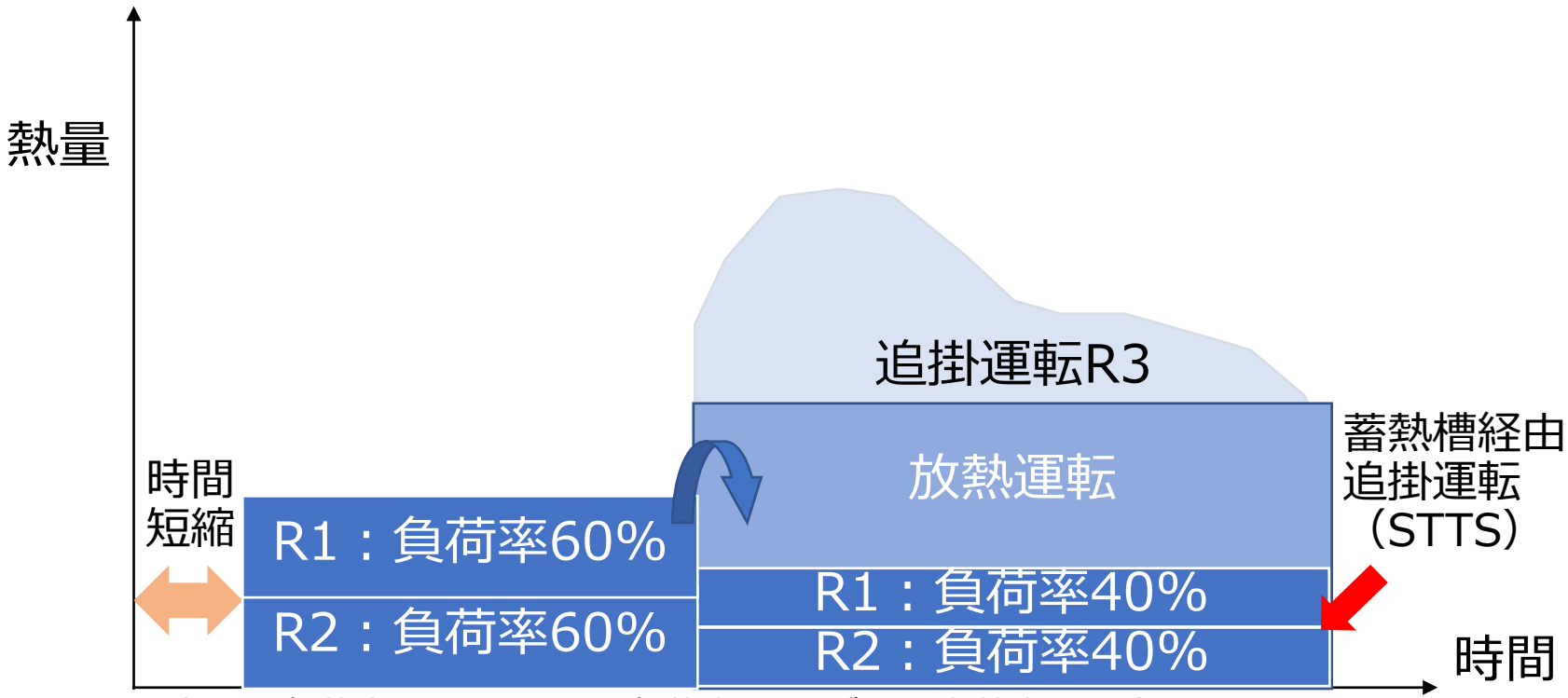
＊昼間の放熱は負荷追従でもOK
⇒あくまで一例（概念図）

提案システムの運用概念



＊冷却水条件により、負荷率60%が最も効率が良い場合
⇒負荷率60%×2台で蓄熱　⇔　蓄熱時間は100%/120%に短縮

提案システムの運用概念

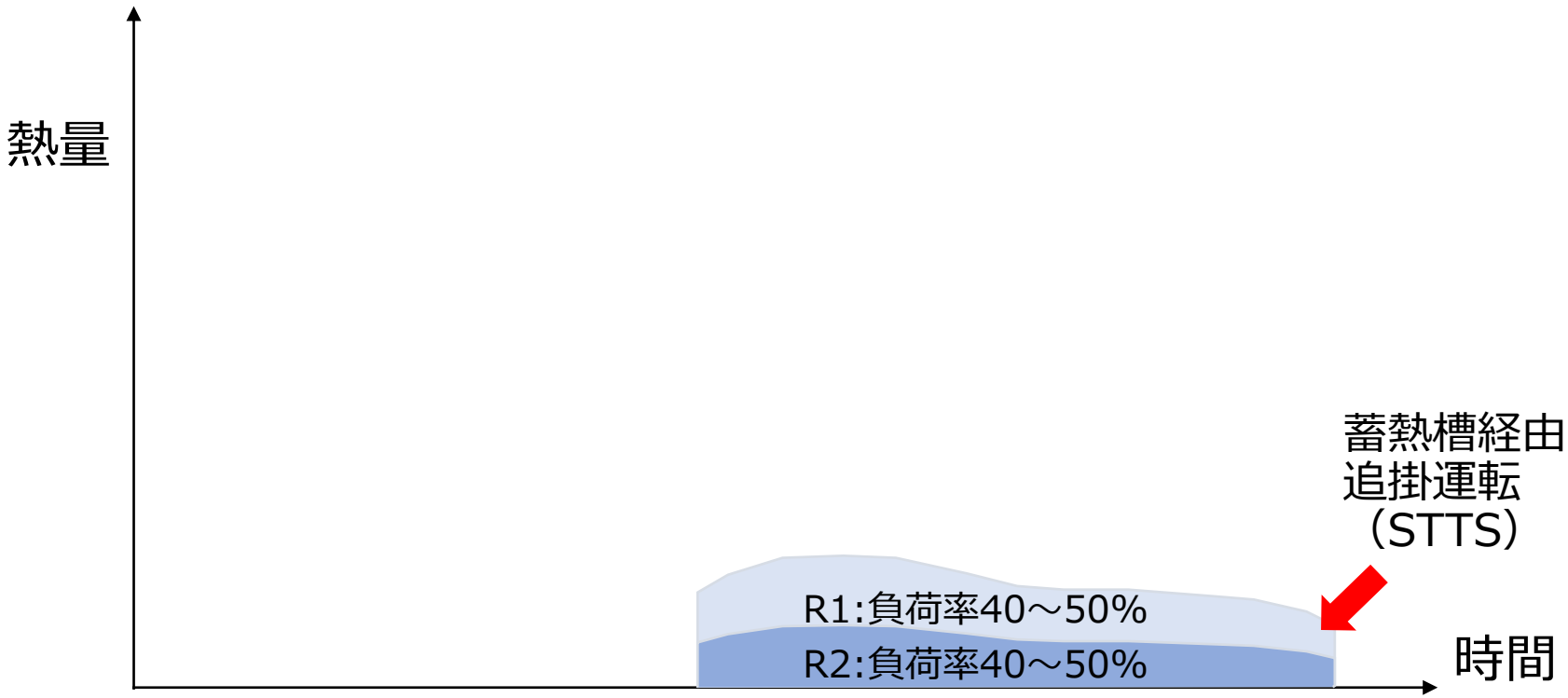


＊夜間：負荷率60%、昼間：負荷率40%が最も高効率な場合

⇒STTSにより、昼夜問わず、高効率点での運用が可能

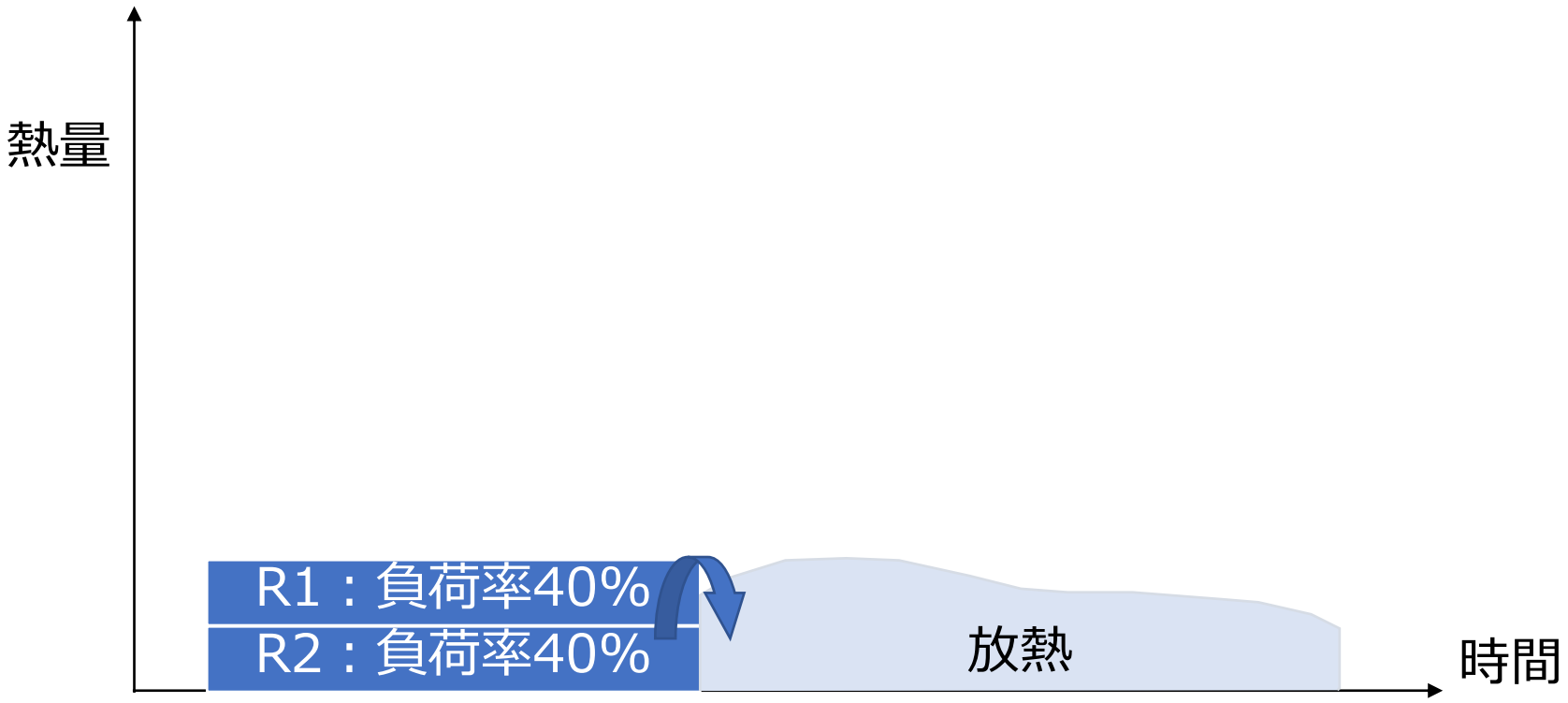
⇔昼間の蓄熱槽は放熱しながら蓄熱されている状況

提案システムの運用概念



＊昼間の追掛だけでも蓄熱槽を経由
　⇒負荷率をある程度制御可能　⇔　リアルタイム制御が必要

提案システムの運用概念



＊蓄熱によるリアルタイム制御からの開放
⇔都合の良い時間帯に、都合の良い負荷率で蓄熱

冷凍機「補機」特性の活用

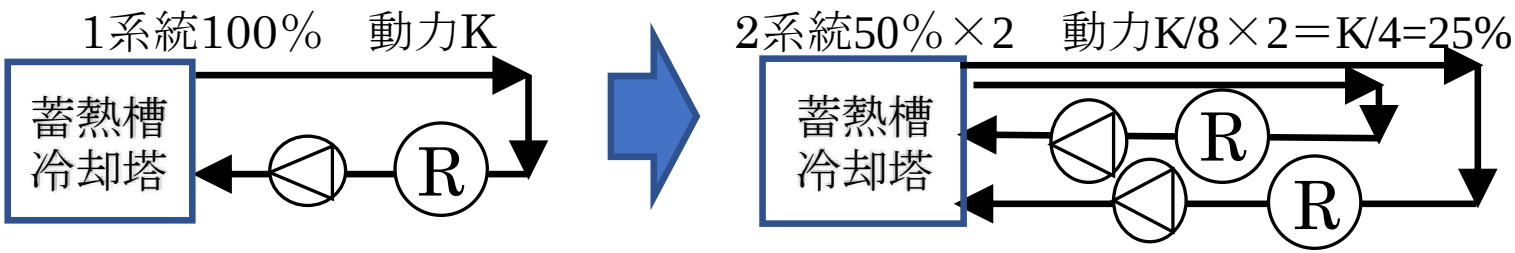
着眼点：蓄熱によって負荷を先取りで処理(蓄熱)

⇒「時間的余裕」が生じる

⇒「機器容量の余裕」が生じる

＊ピーク負荷発生時以外の全ての時間帯に生じる

⇒「使用されない時間帯の配管系統」を活用を提案



非蓄熱系統を転用して冷凍機を2系統化する方式の概念図

＊配管径の変更なしの配管系統増設
＊機器の増設・容量変更は伴わない

100%の負荷を負荷率50%のINV冷凍機2台で賄う
⇒冷水／冷却水の水量を1/2に制御
⇒同じ配管径×2系統にそれぞれ流量1/2
⇒理論上は、各系統の配管抵抗は1/4、軸動力は1/8
⇒ただし2系統なので動力は全体で1/4

「2系統使用することで動力減が期待できる！？」

さらなる可能性について

(1)冷凍機の流量制御
圧力リレーの代替として流量計による検知が可能
　⇒変流量制御の導入が従前より容易

(2)INVの最低周波数
INV最低周波数が30Hzに設定されることが多い
　⇒最低周波数を下げる取り組みが散見される
　⇒より低流量が制御範囲に
　⇒本提案がさらなる効果をもたらす可能性がある

(3)DDF・DMFの援用
空調二次側システムに援用することも可能
　⇒負荷の偏在が生じた場合に、動力削減効果が減退
空調一次側システムとなる熱源システム
　⇒負荷の偏在がないので、効果の最大化が期待できる

ビルで熱をためる理由とその効果

～蓄熱に関する様々な誤解(蓄熱小ネタ)～

・蓄熱はもう古い？

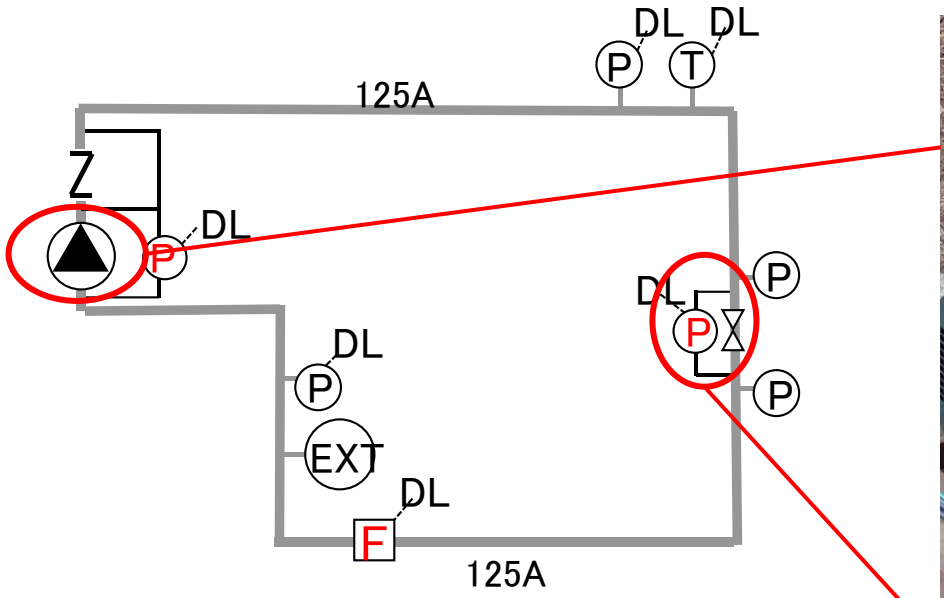
・中国では氷蓄熱が主体！？

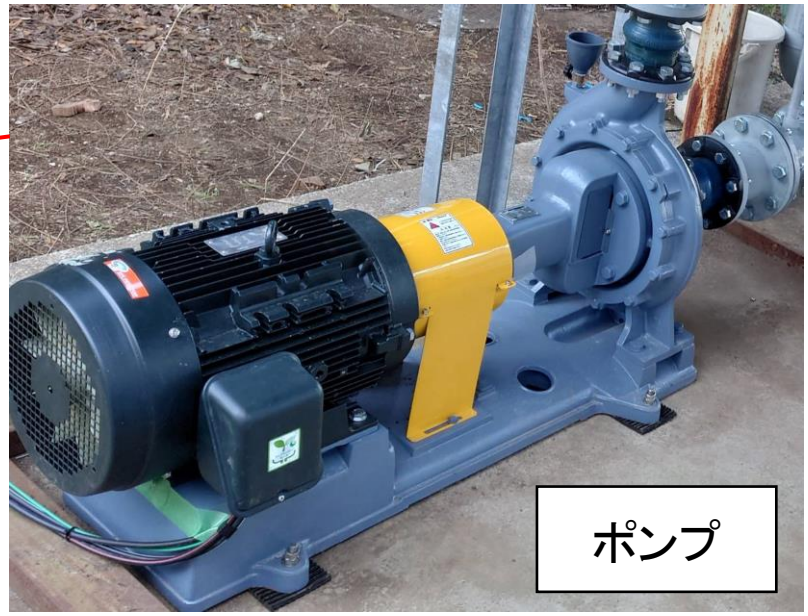
・蓄熱槽はロスが大きい？

・蓄熱槽×インバータで省エネ？

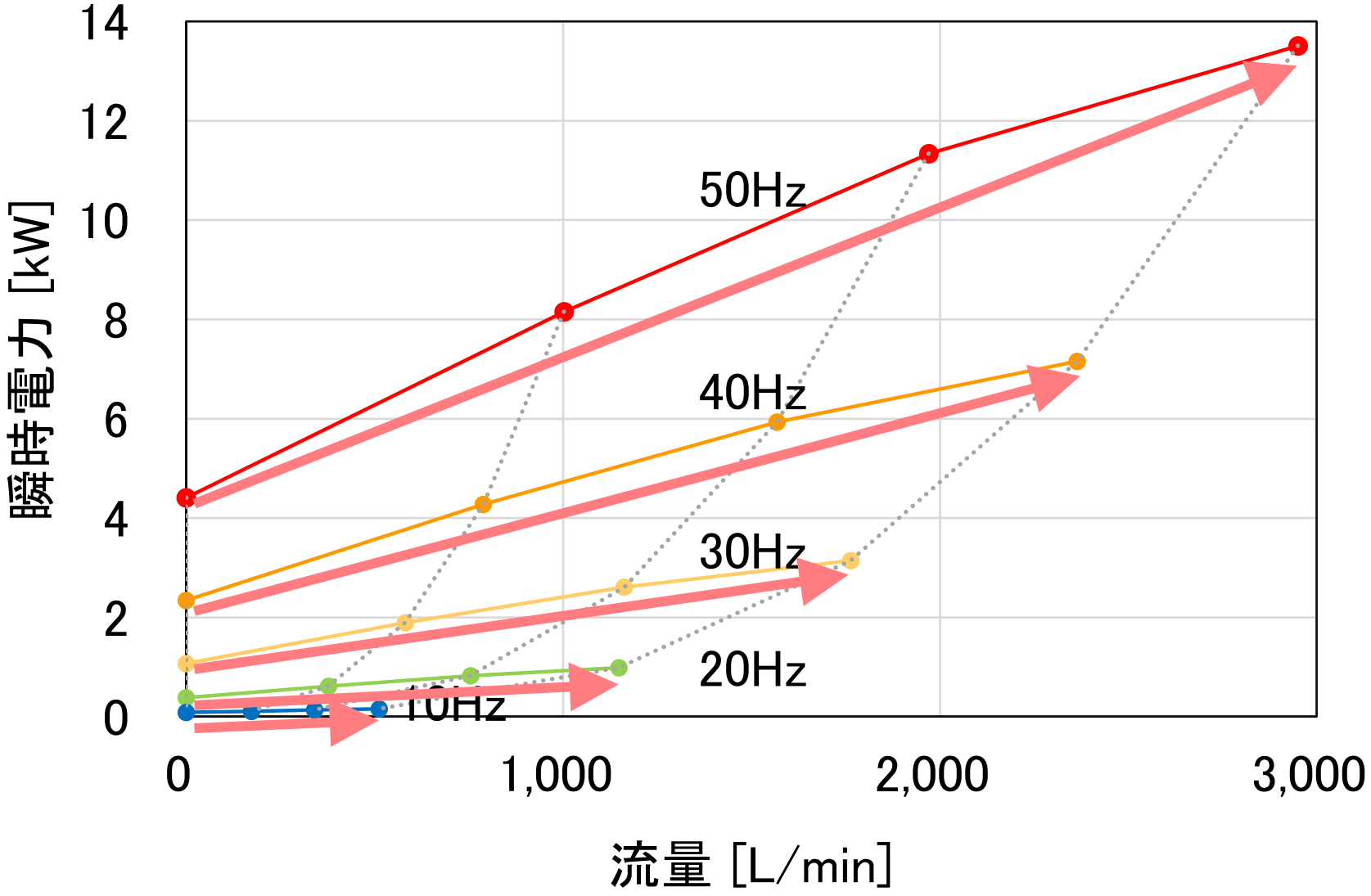
・教科書に載っていないインバータ制御？
＞インバータロスの実態

補機インバータ制御の可能性

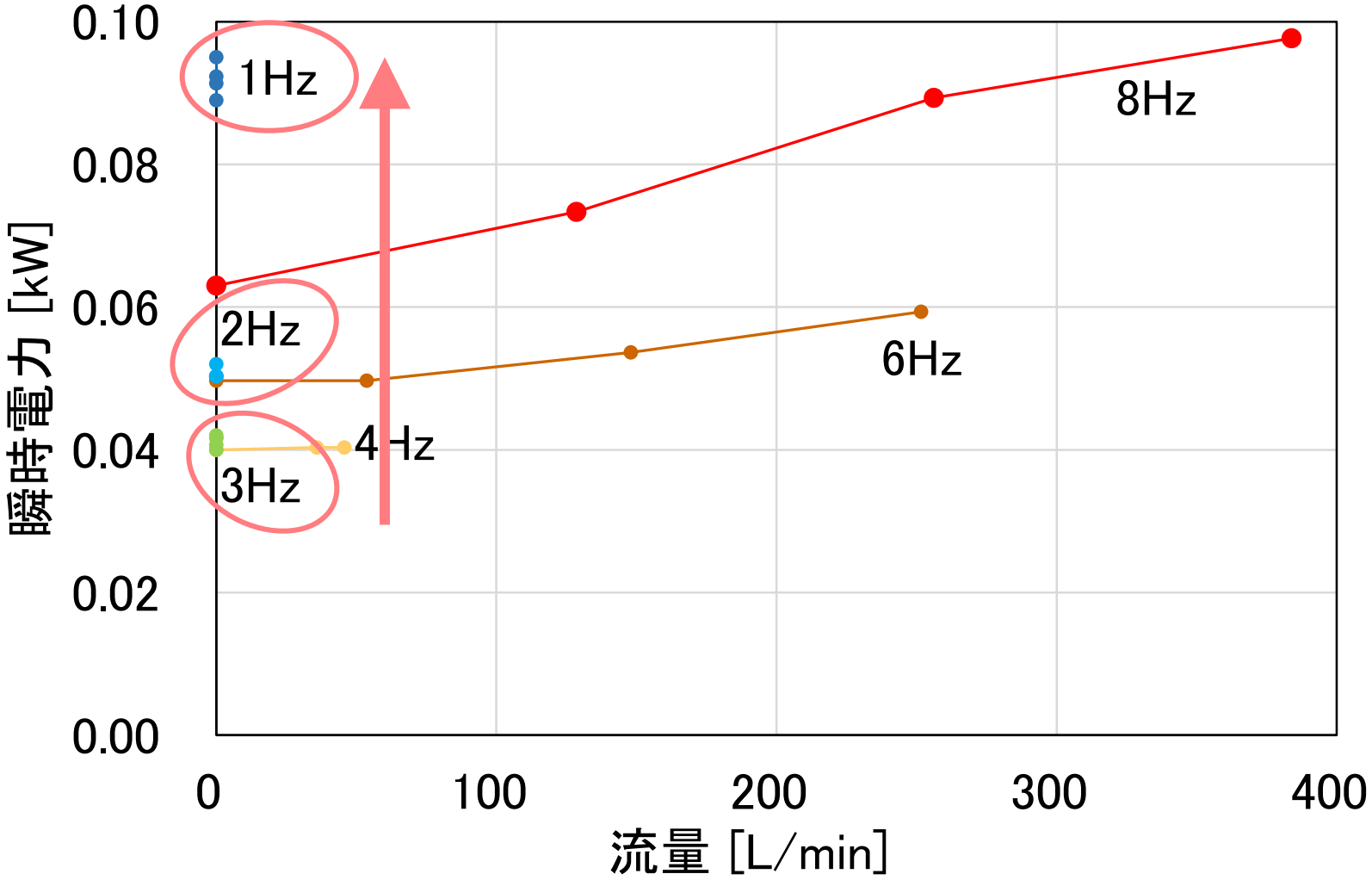




補機インバータ制御の可能性
瞬時電力と流量

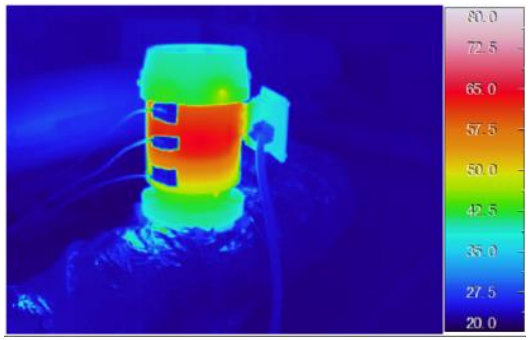


補機インバータ制御の可能性
瞬時電力と流量

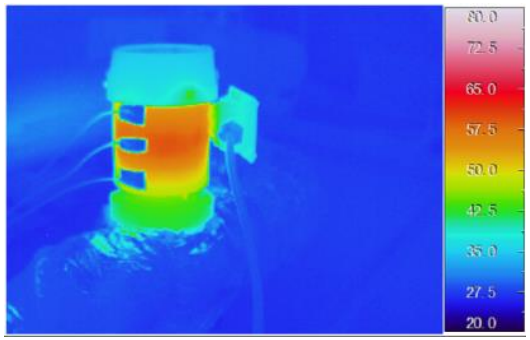


ポンプは低周波数域で発熱する？

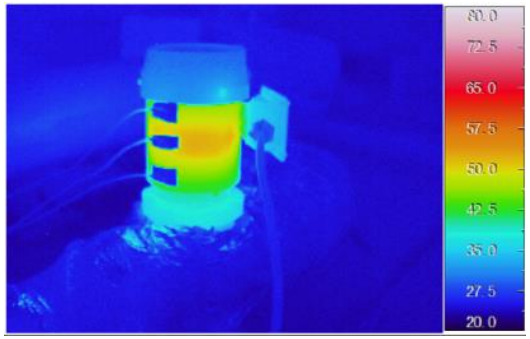
可視画像



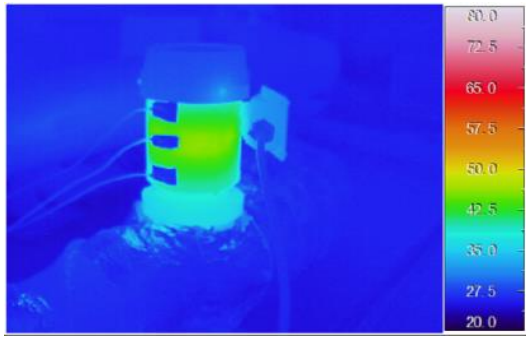
5Hz



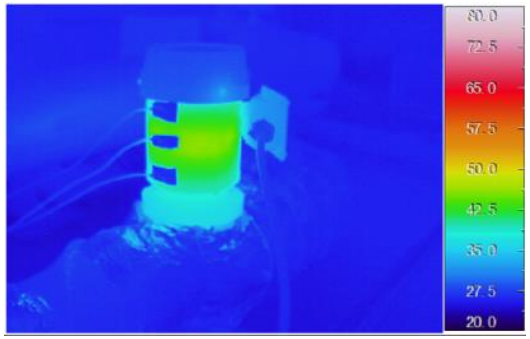
8Hz



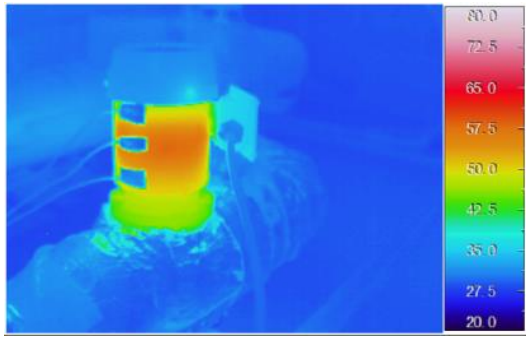
10Hz



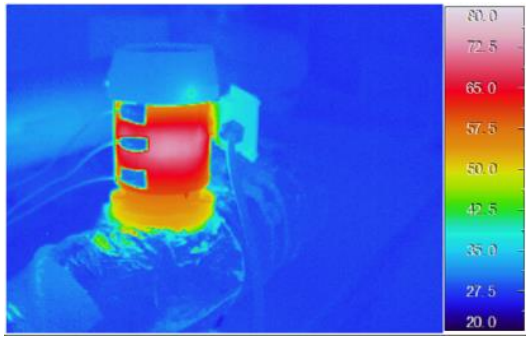
15Hz



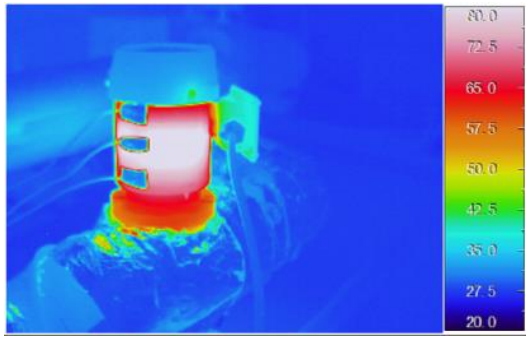
20Hz



40Hz



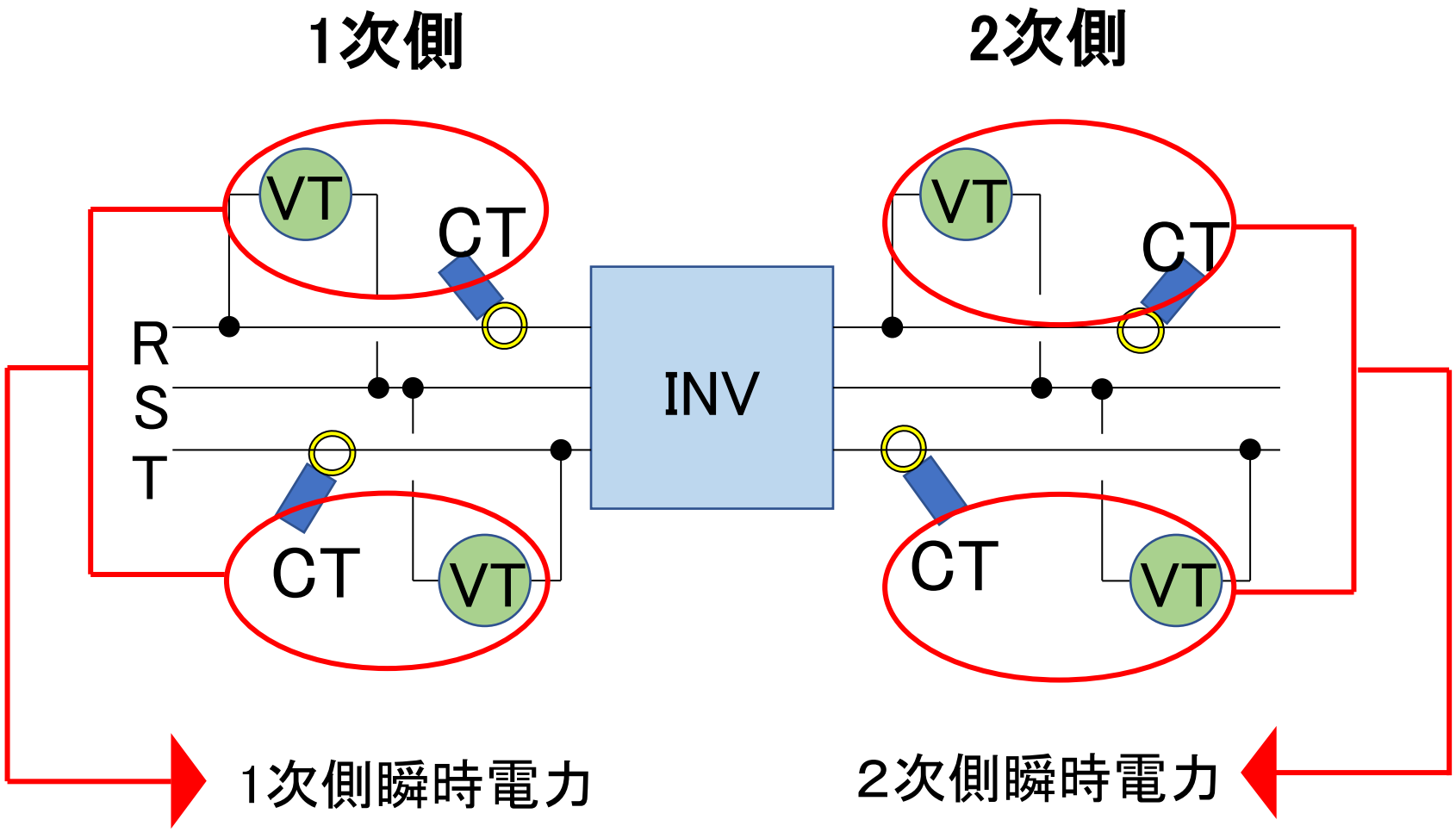
50Hz



55Hz

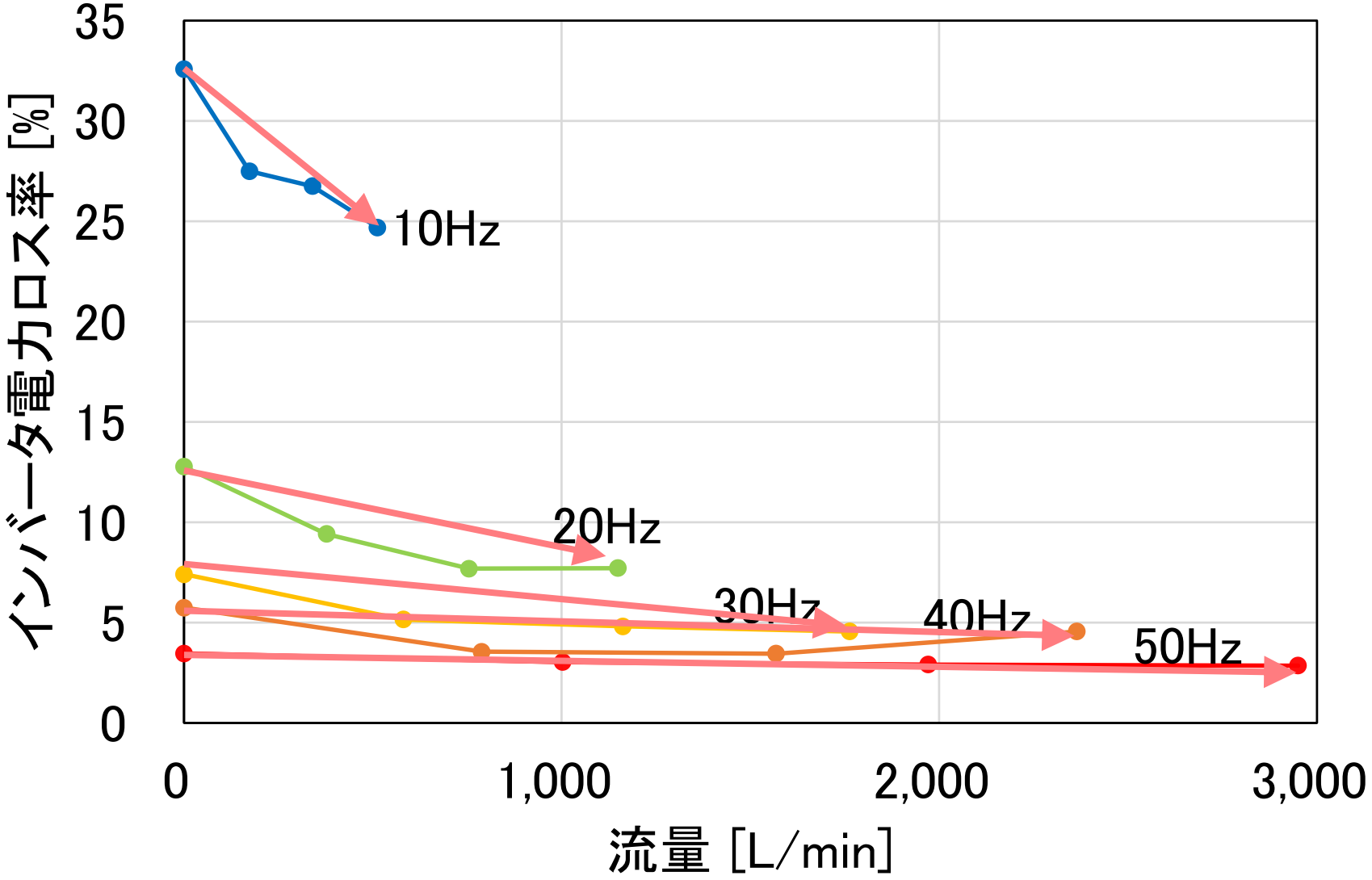
定格時のほうが発熱は大きい(消費電力が大きい)

補機インバータ制御の可能性
INV効率計測結線概念図



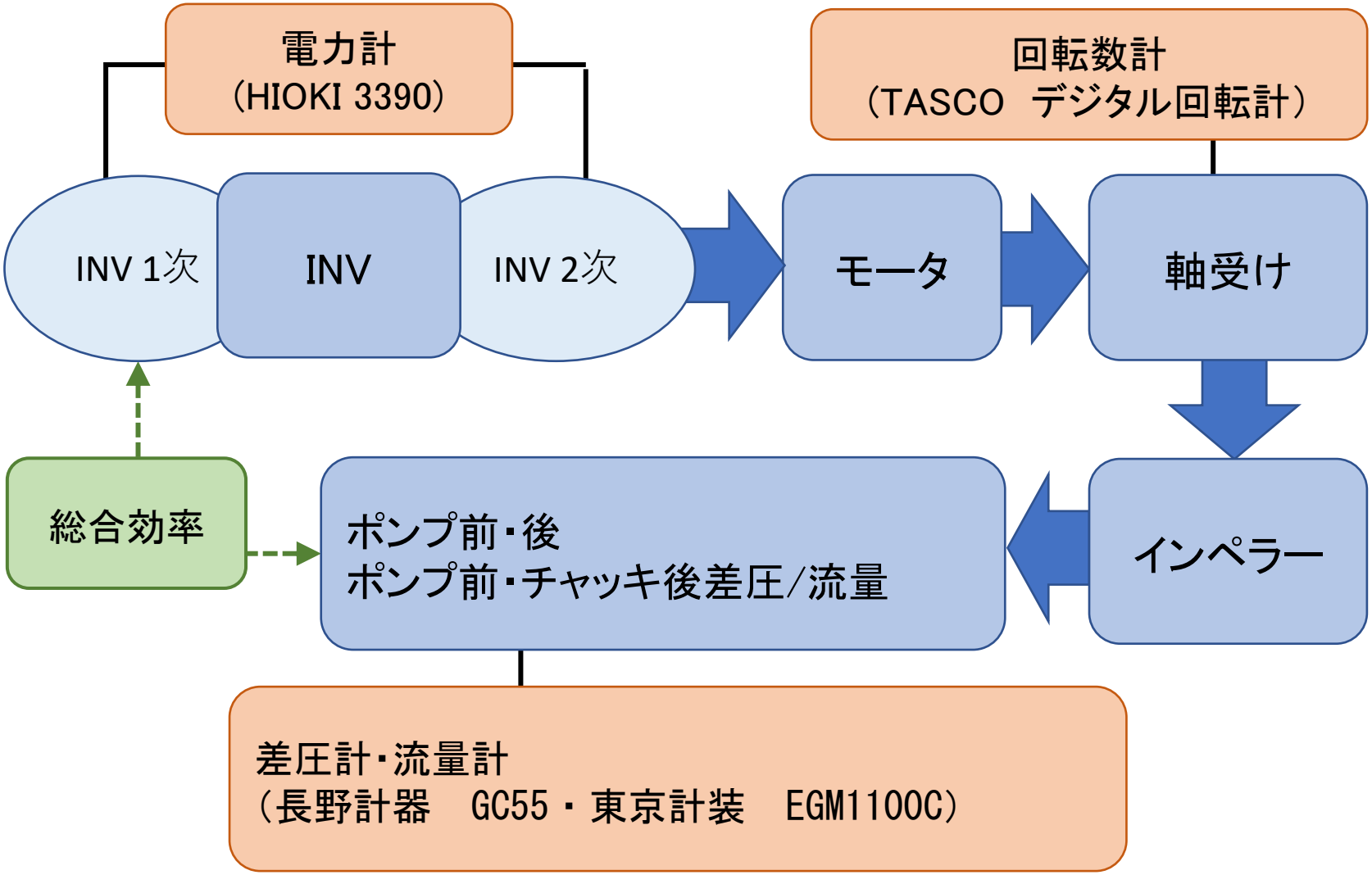
1次側瞬時電力と2次側瞬時電力の差　→**ロス瞬時電力**
1次側瞬時電力に対する2次側瞬時電力の割合　→**ロス率**

補機インバータ制御の可能性
インバータロス率と流量

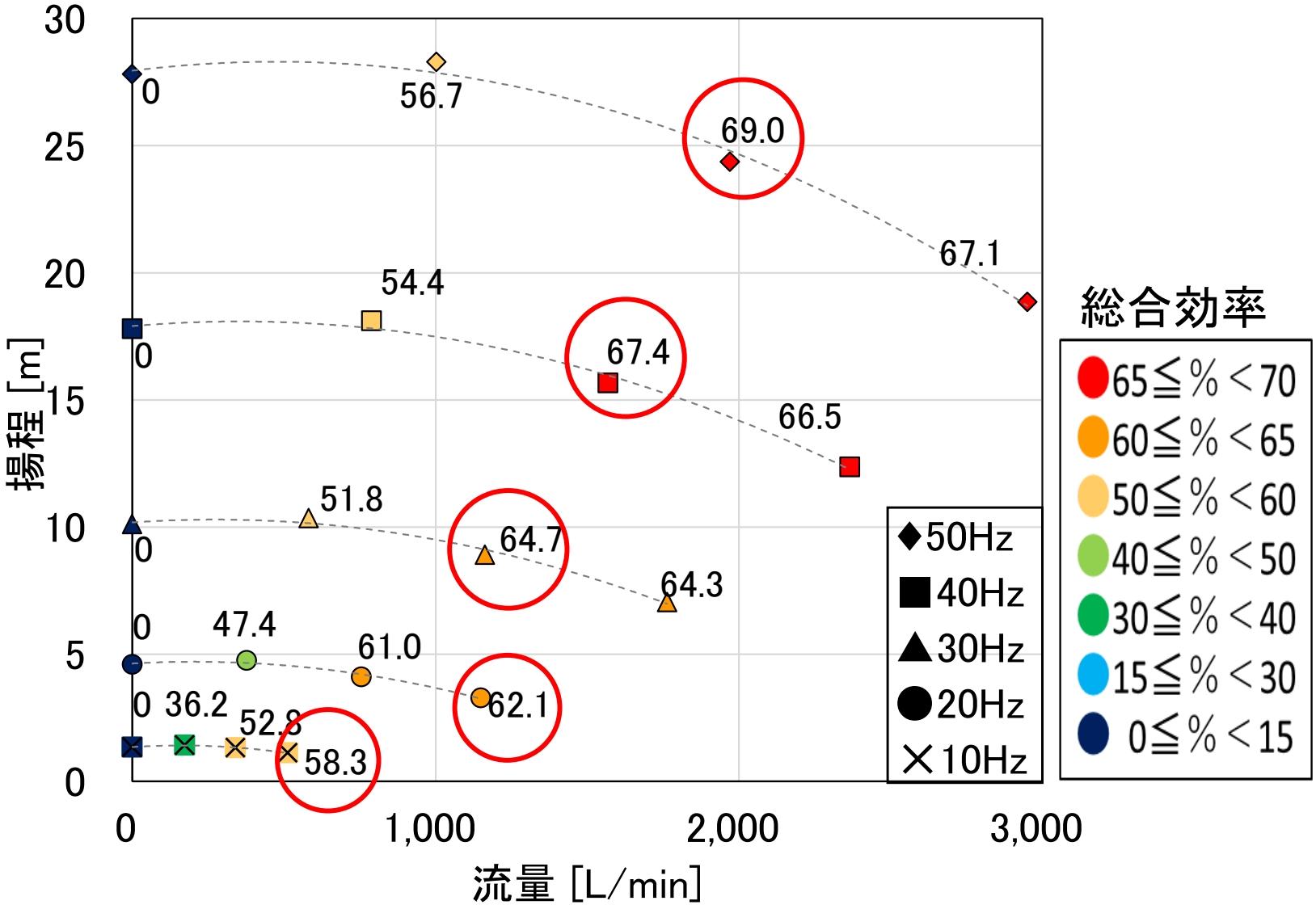


ポンプ総合効率の測定

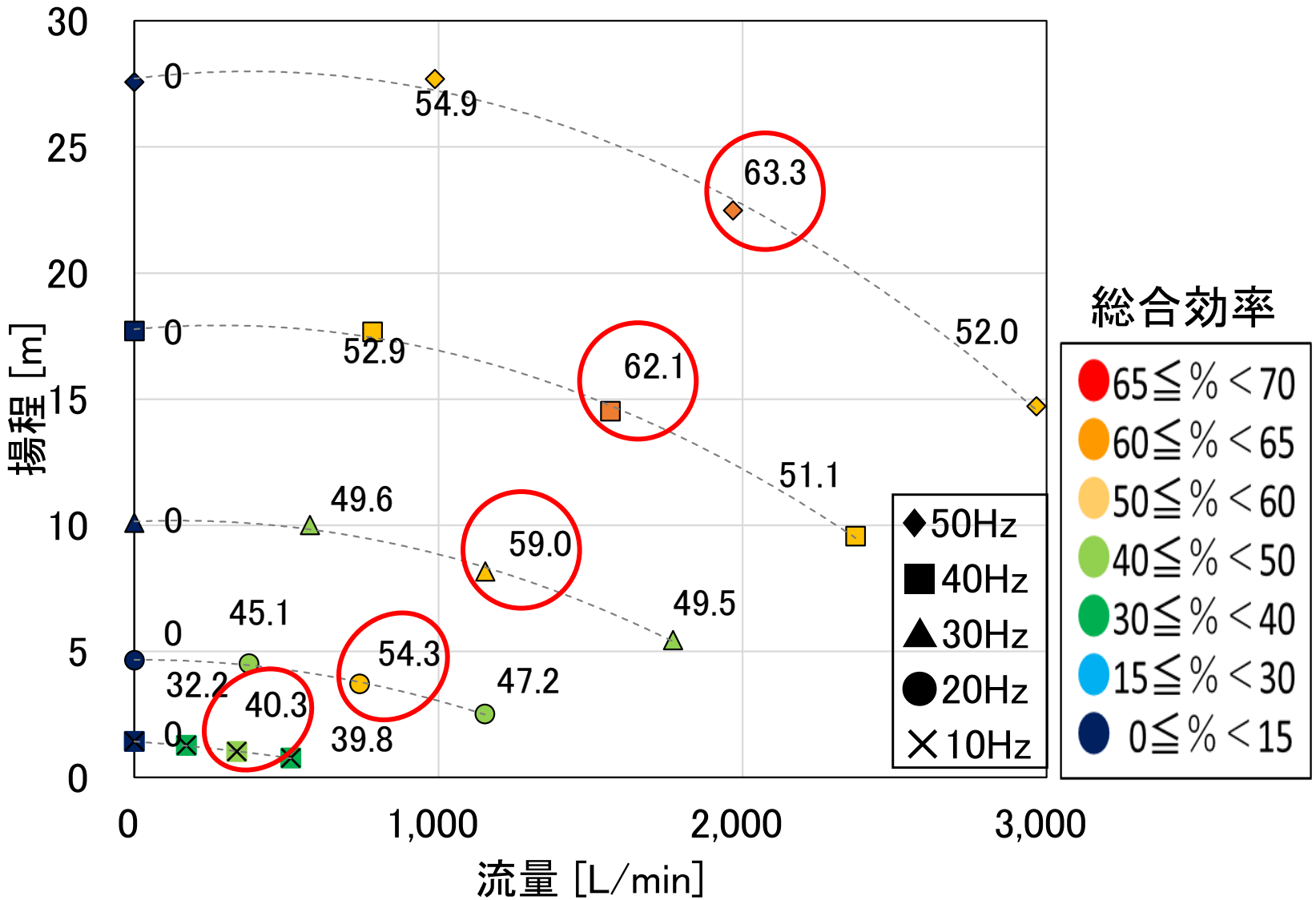
電力計


電力計
(HIOKI 3390)
回転数計
(TASCO　デジタル回転計)
INV 1次
INV
INV 2次
モータ
軸受け
総合効率
ポンプ前・後
ポンプ前・チャッキ後差圧/流量
インペラー
差圧計・流量計
(長野計器　GC55・東京計装　EGM1100C)

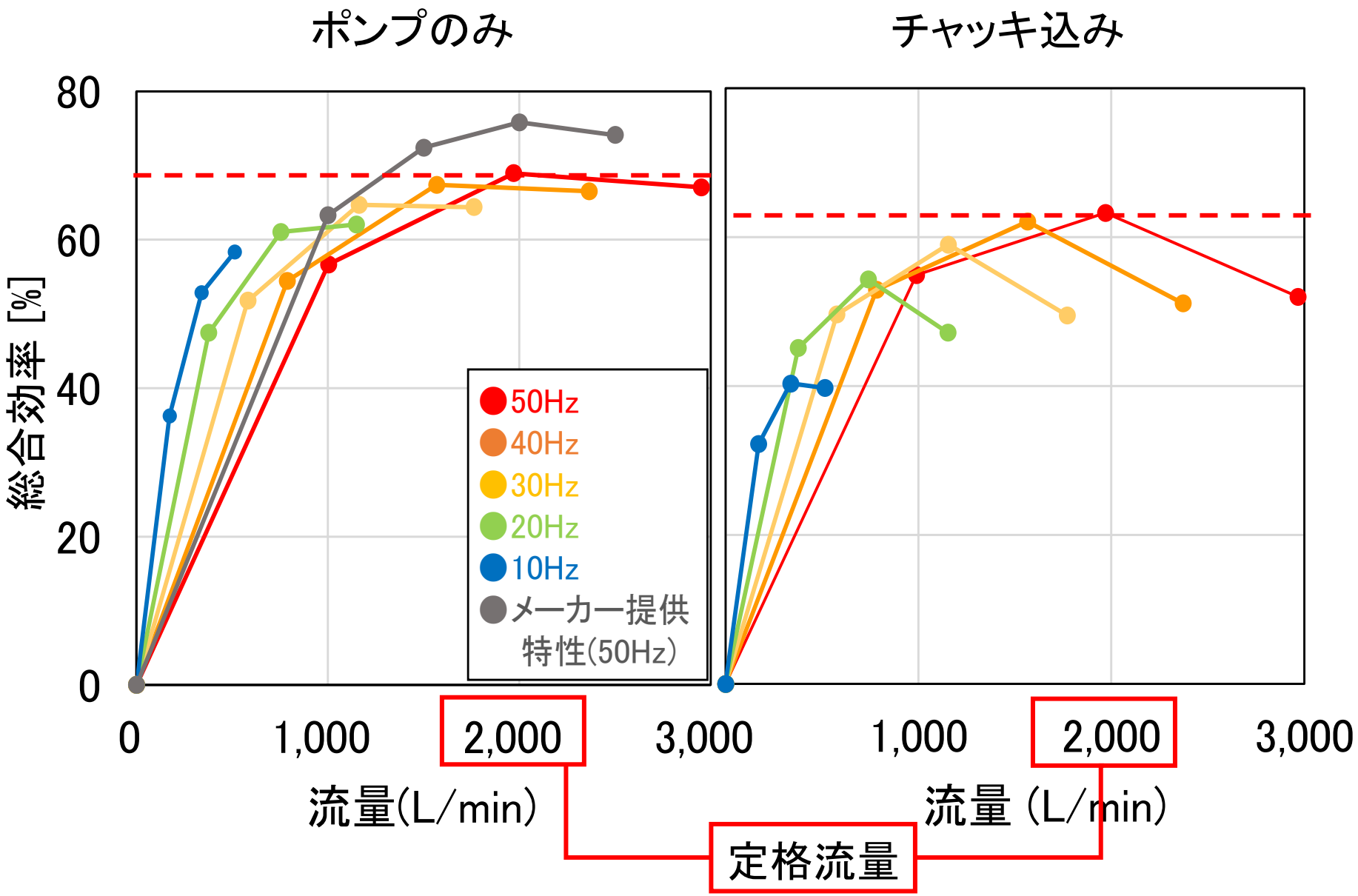
ポンプ単体の総合効率


30
25
20
15
10
5
0
揚程 [m]
0
1,000
2,000
3,000
流量 [L/min]
0
56.7
69.0
67.1
54.4
67.4
66.5
51.8
64.7
64.3
47.4
61.0
62.1
36.2
52.8
58.3
50Hz
40Hz
30Hz
20Hz
10Hz
総合効率
65≦%＜70
60≦%＜65
50≦%＜60
40≦%＜50
30≦%＜40
15≦%＜30
0≦%＜15

ポンプ＋チャッキの総合効率



ポンプ単体／ポンプ＋チャッキの総合効率



ビルで熱をためる理由とその効果

～蓄熱に関する様々な誤解(蓄熱小ネタ)～

- 蓄熱はもう古い？
  ⇒省イニシャル＞省ランニング＞省エネ技術
- 中国では氷蓄熱が主体！？
  ⇒積極的な低温利用に注目⇔システム効率重視
- 蓄熱槽はロスが大きい？
  ⇒大規模ならロスは極小、劣化も軽微(資産価値)
- 蓄熱槽×インバータで省エネ？
  ⇒負荷の量と時間の制約からの開放＞最高効率点運用
- 教科書に載っていないインバータ制御？
  ⇒インバータの制御幅は広いが効率変化にも注意

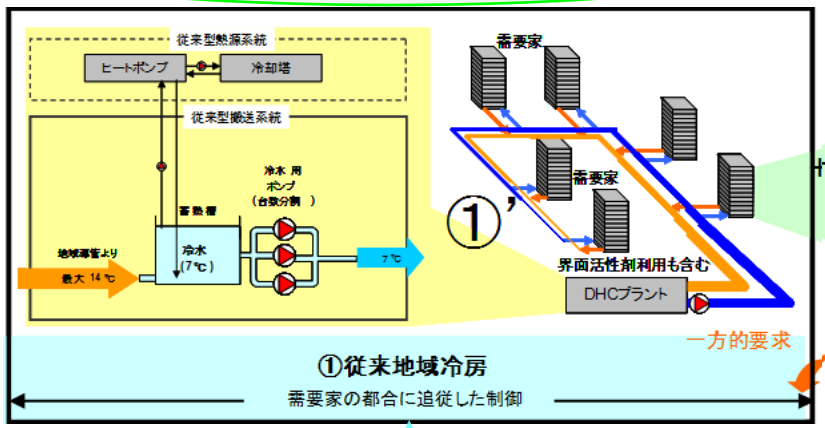
ご清聴ありがとうございました

高密度冷熱ネットワークの提案@日本

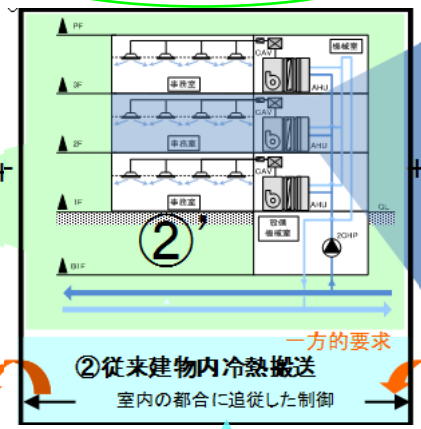
建築群のトータルプロデュース

地域冷房　**建物内冷熱搬送**　**室内空調**　**温熱感**

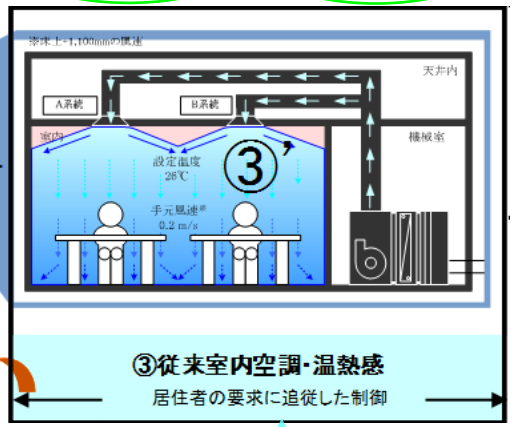
「従来システム群」



①従来地域冷房
需要家の都合に追従した制御



②従来建物内冷熱搬送
室内の都合に追従した制御



③従来室内空調・温熱感
居住者の要求に追従した制御

①氷水搬送
配管縮小・導管工事費縮減・搬送動力減

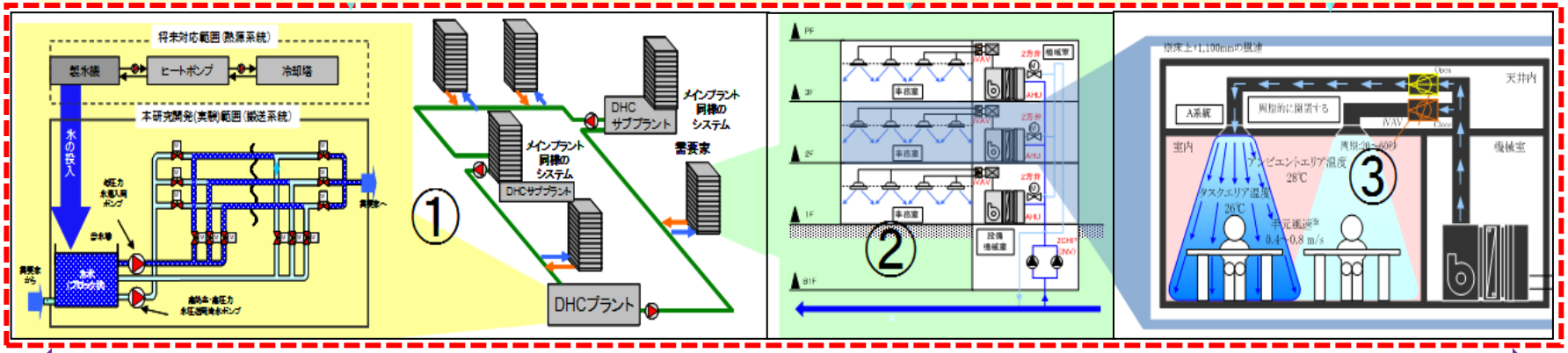
②低温送水・送風
搬送動力減

③室温緩和
冷熱負荷低減

④熱融通＆統合制御　**地域冷房** ⇄ **建物内冷熱搬送** ⇄ **室内空調**

温熱感

「高密度冷熱ネットワーク」



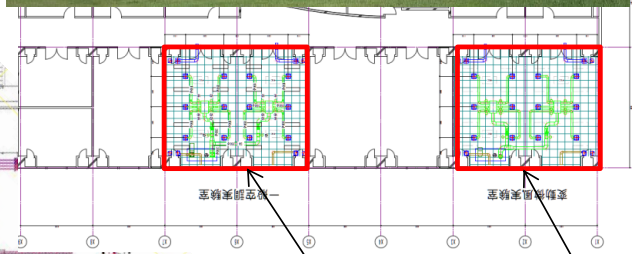
共通プラットホーム：氷蓄熱システムを基調とした、氷が持つ冷熱ポテンシャルの活用

高密度冷熱ネットワークの実証試験の様子

プラント構築と氷水搬送の実証

約12000㎡規模のオフィス空調を模擬した
実証試験装置の構築と実証
⇒設計手法の確立

配管全長
約200m
75Φ

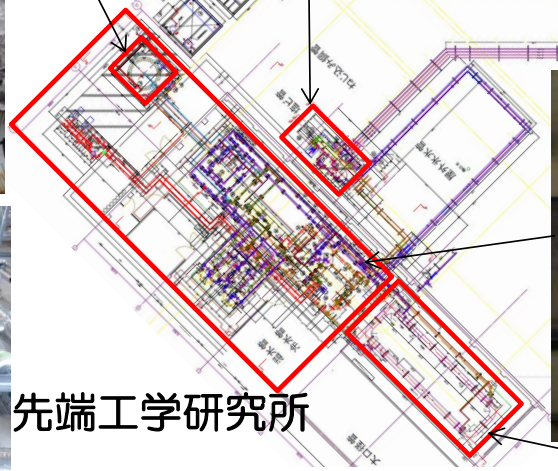


一般空調
実験室

変動微風空調
実験室

ハーベスト製氷機

需要家受入設備

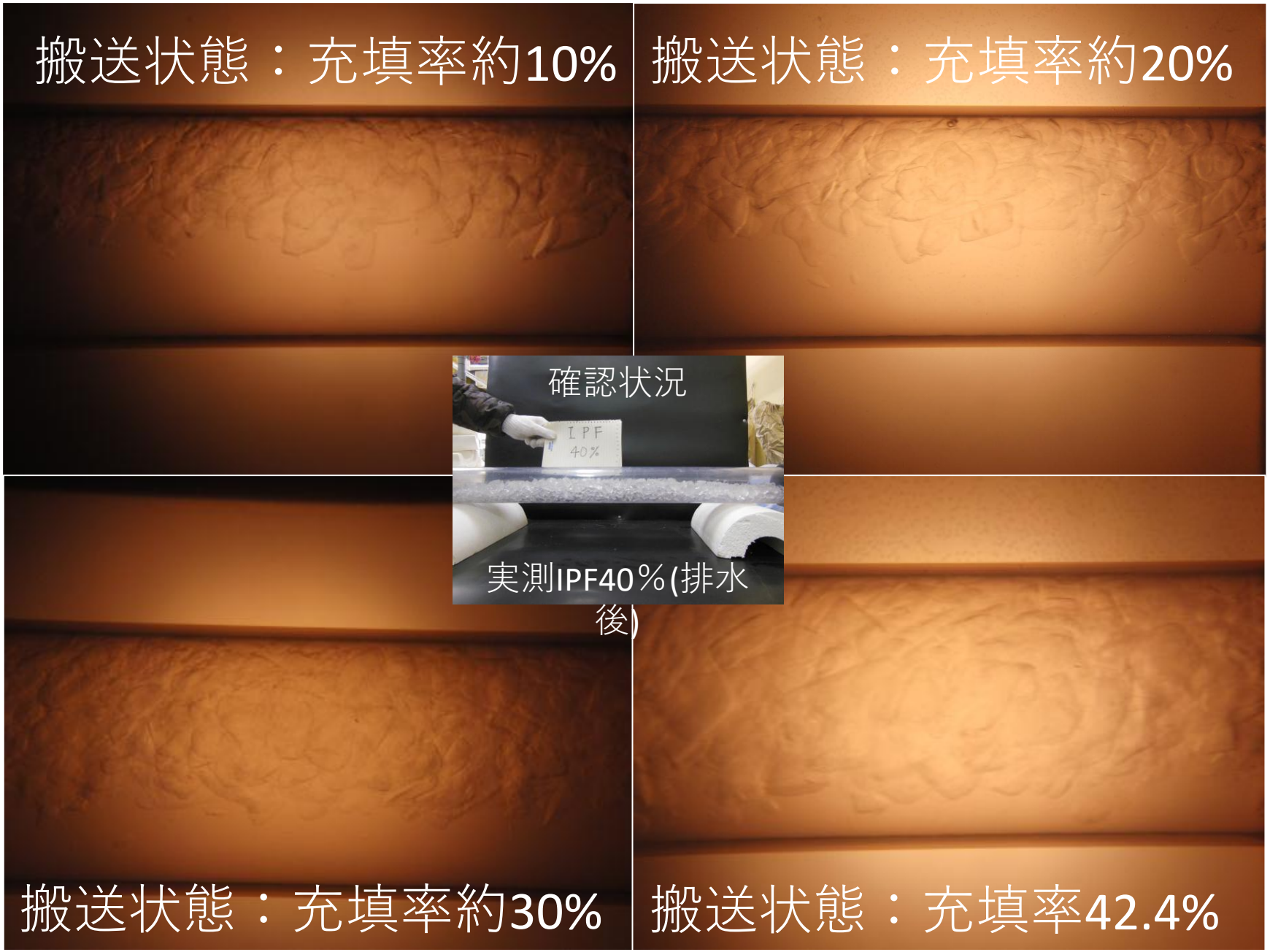


先端工学研究所

実証試験装置規模：一般住宅250件程度、
オフィスビル12,000㎡程度

実配管規模(400A)実験装置

高密度冷熱ネットワークの氷搬送状況

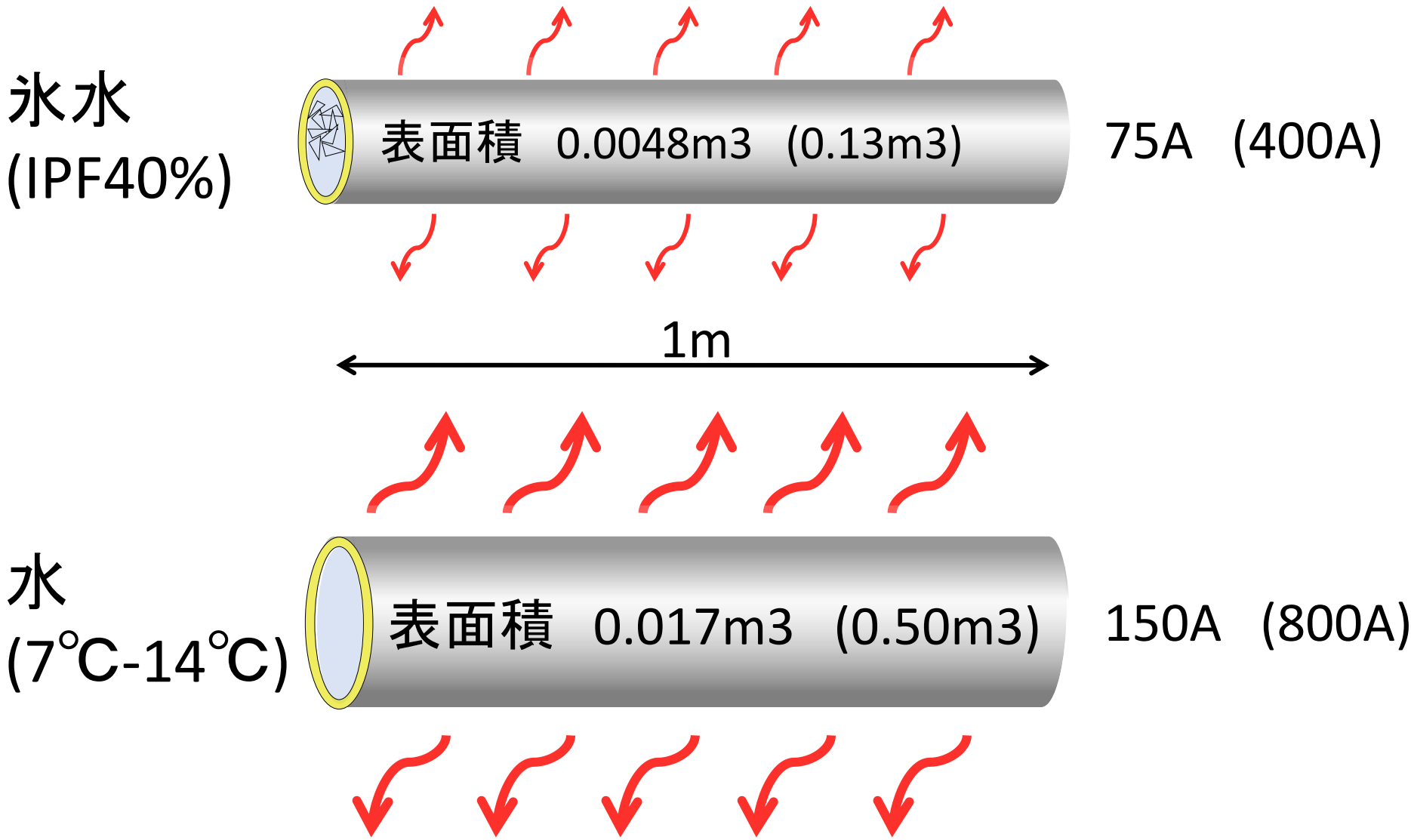


氷水搬送の放熱ロスについて

計算に使用する設定値

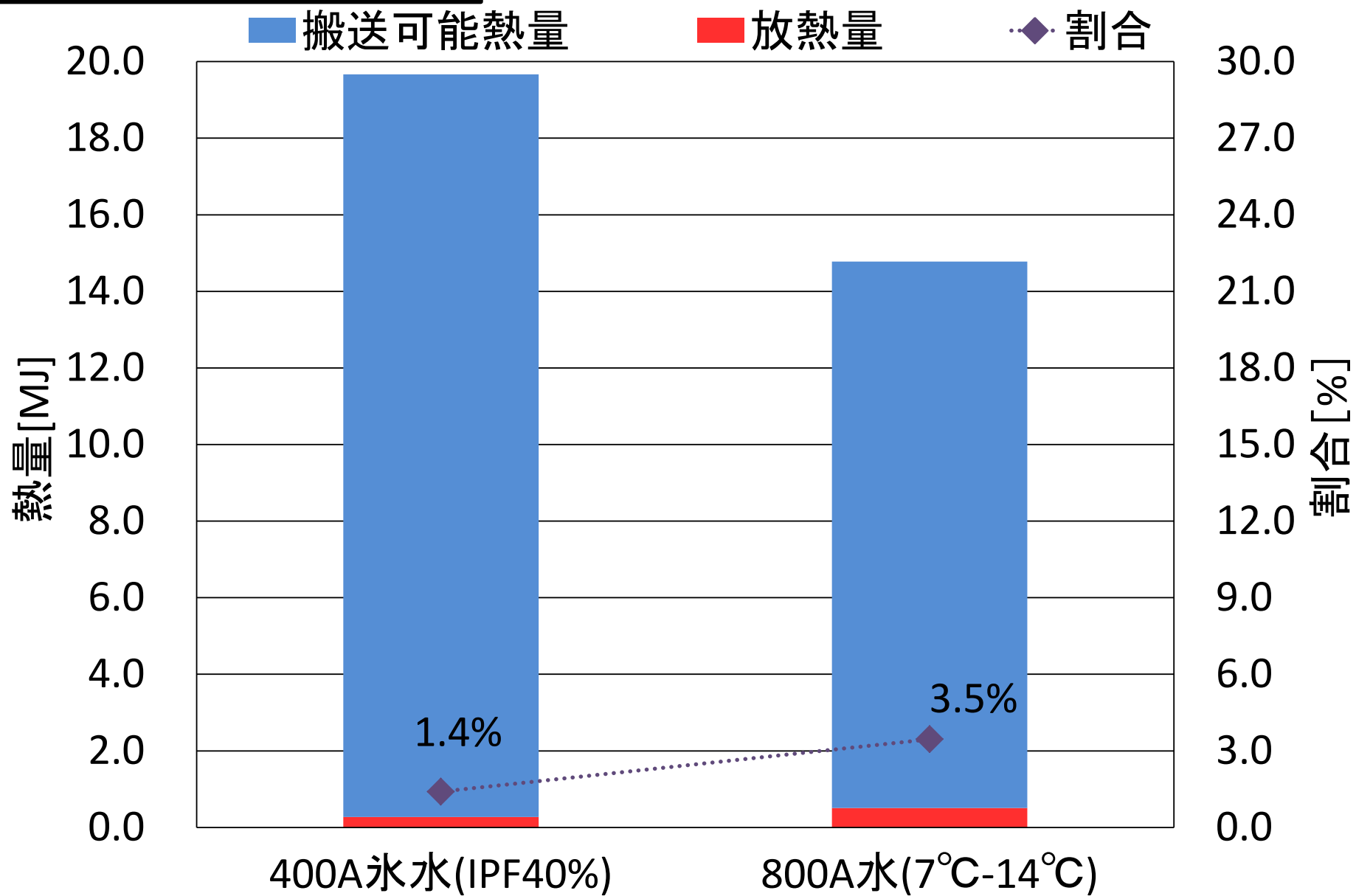
室温20℃

※保温材　グラスウール　厚さ50mm

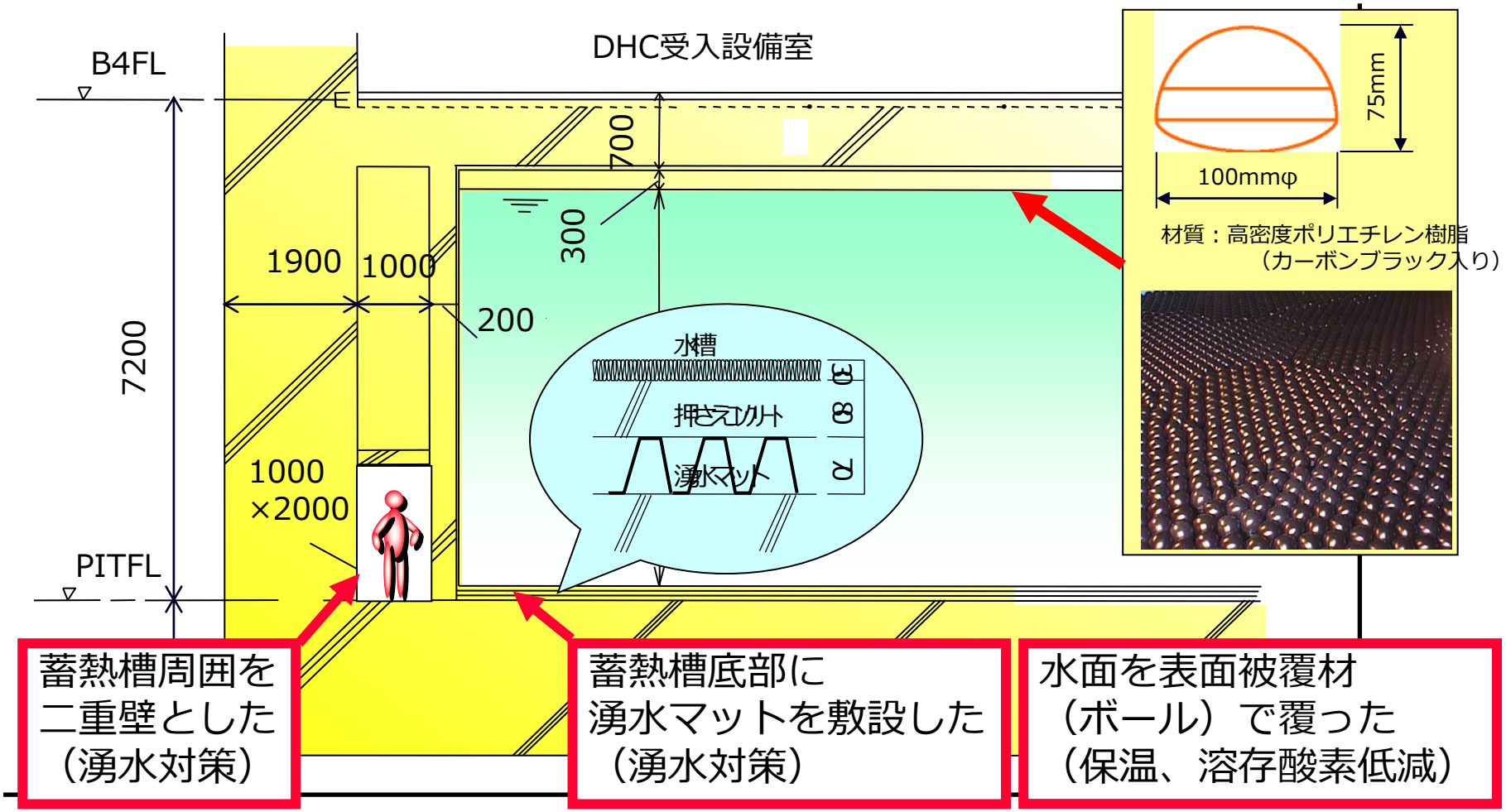


氷水搬送の放熱ロスについて

計算結果(実大規模)

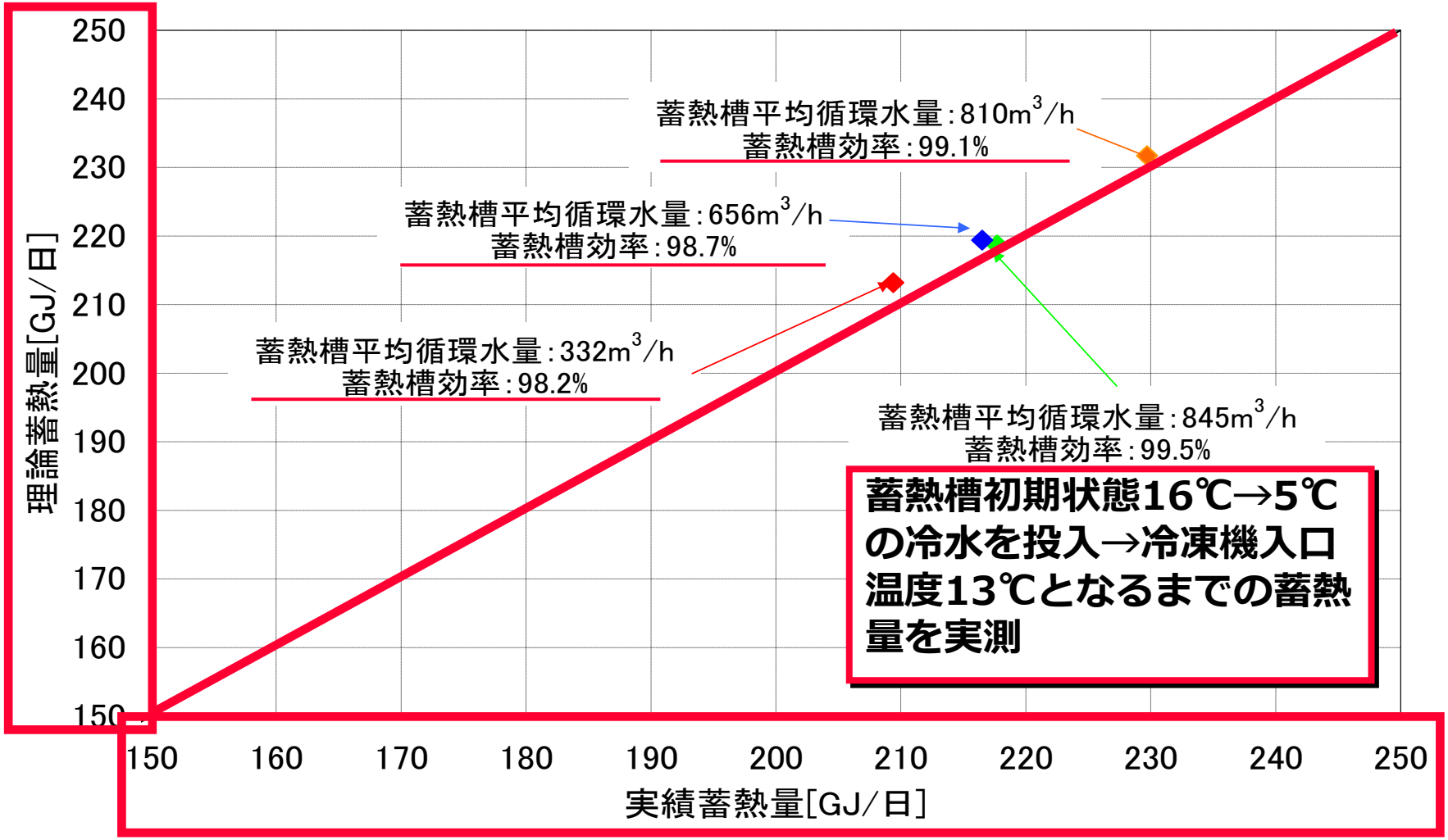


蓄熱ロスの低減と湧水対策（蓄熱槽断面図）



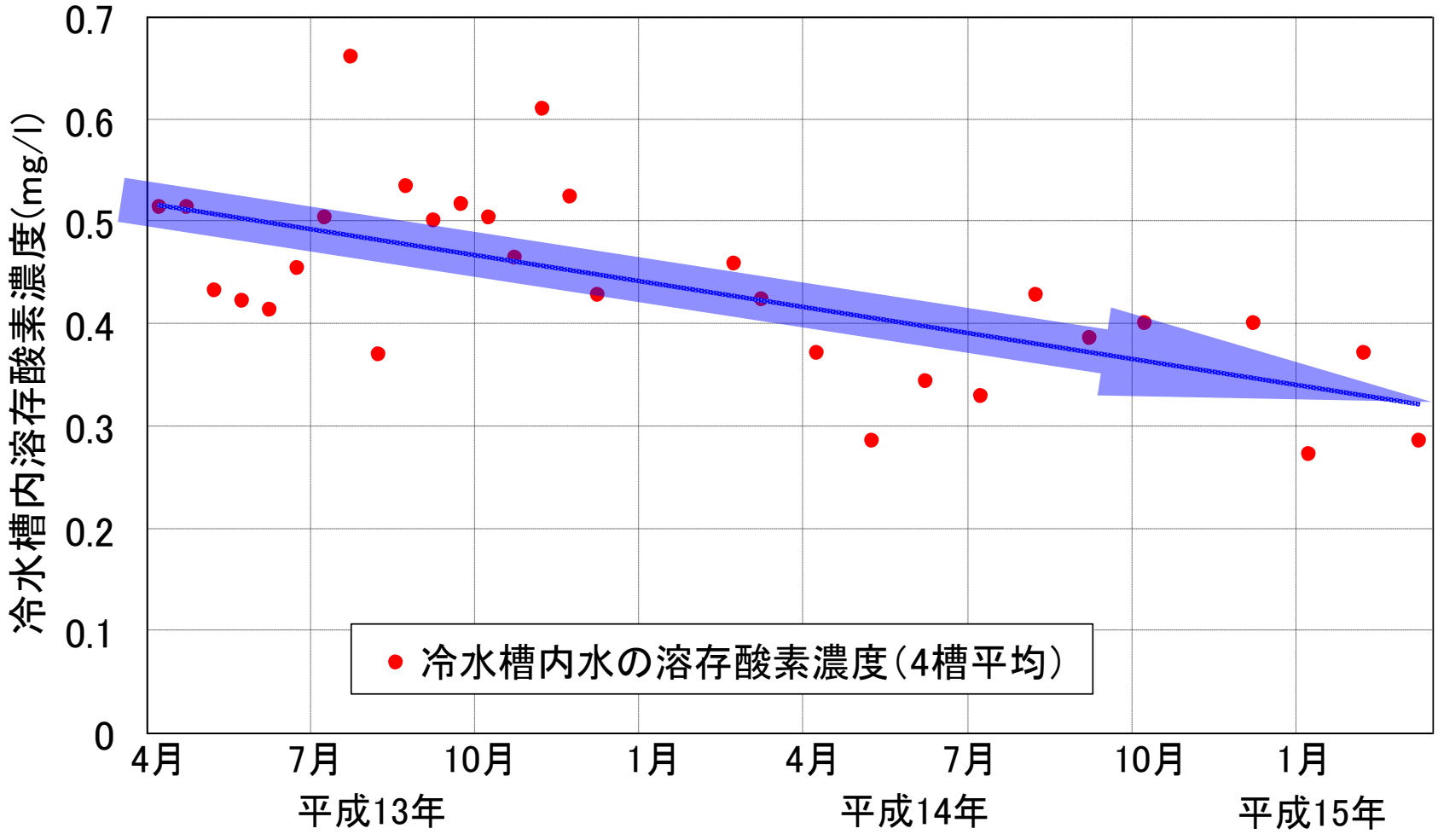
表面被覆材などの効果により、熱損失のきわめて小さい蓄熱槽となった

蓄熱槽のコミッショニング（受渡し性能検証）



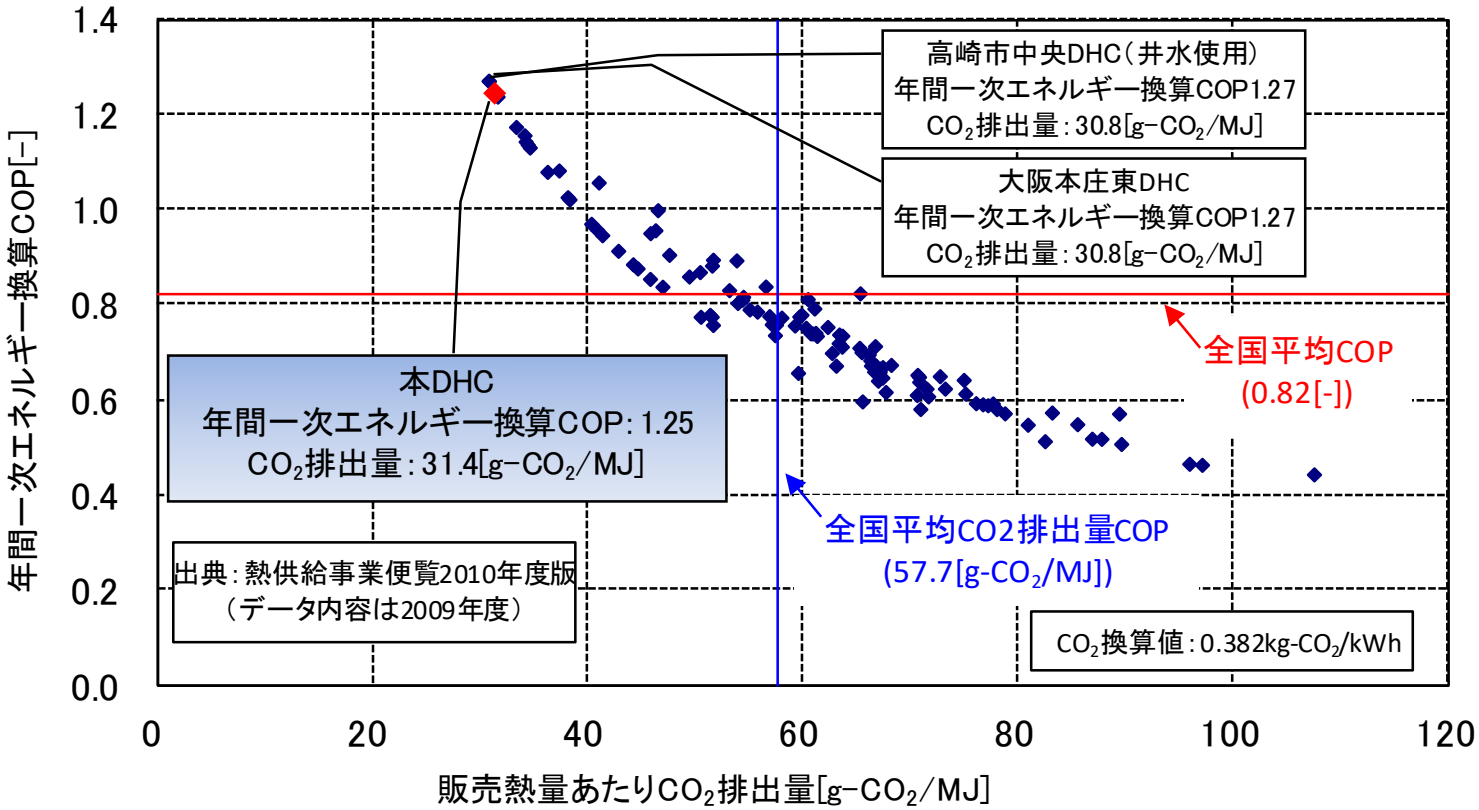
蓄熱槽効率はすべて98%となり、発注仕様以上の性能を得られることを確認した

蓄熱槽のコミッショニング（溶存酸素の検証）



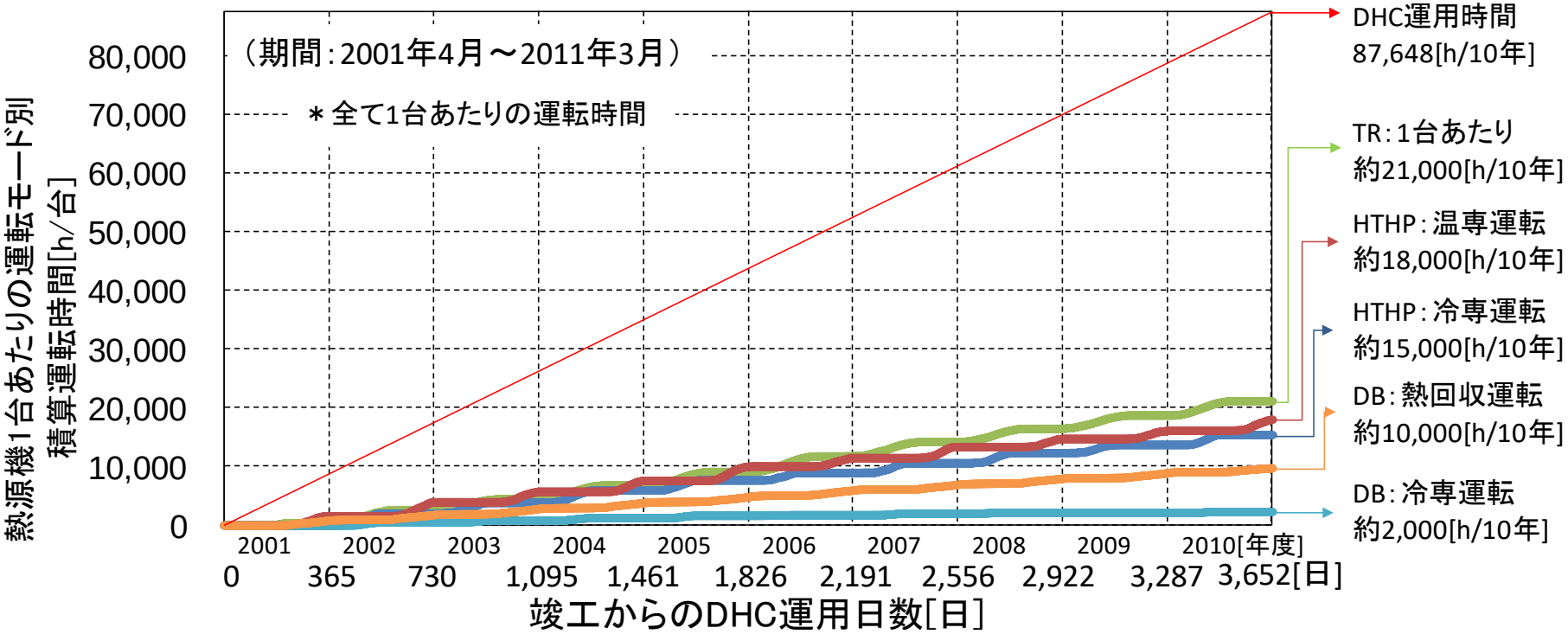
溶存酸素濃度は小さい値となった。また年々減少する傾向が見られた

高いCOPの維持（全国のDHCの効率）



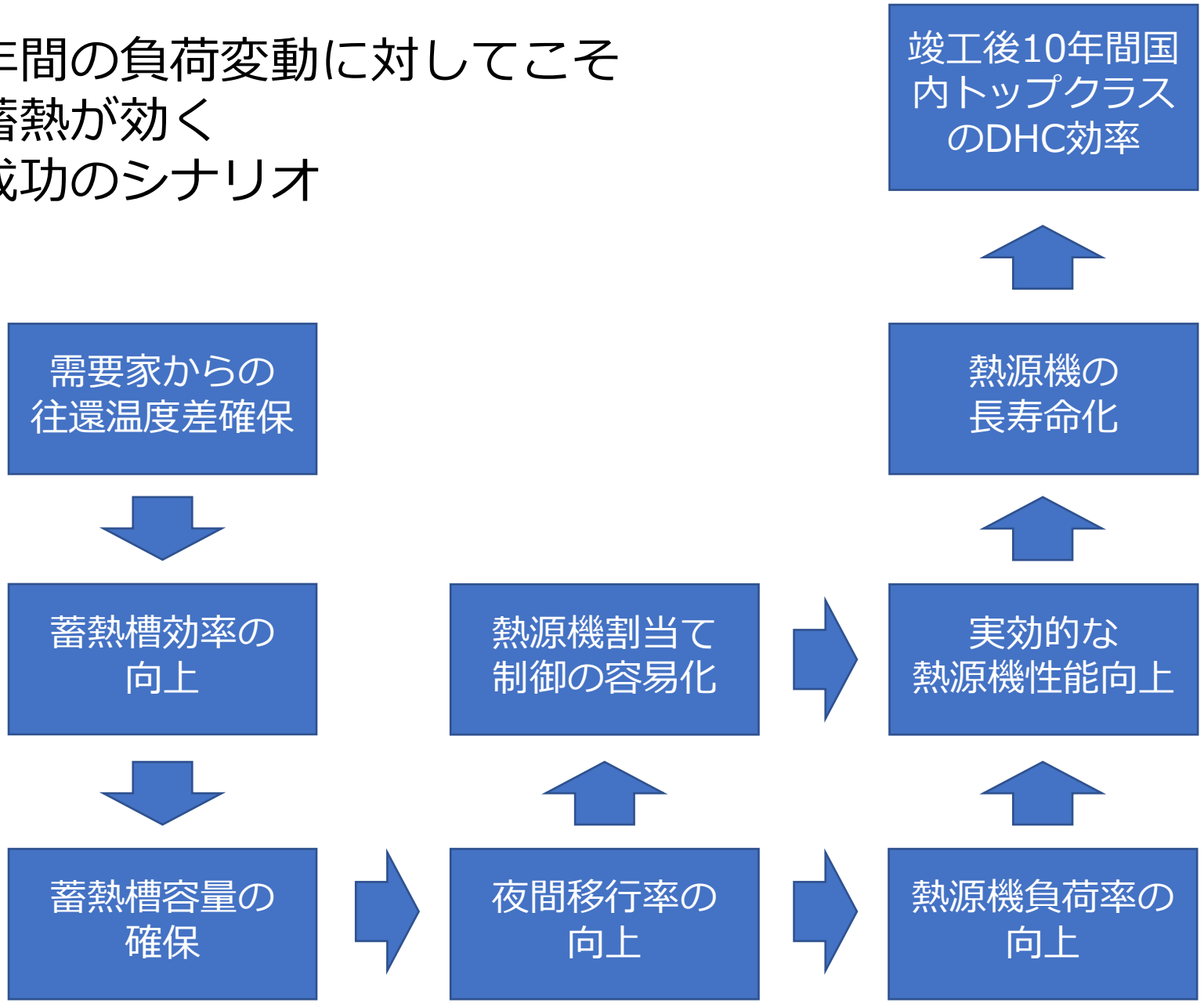
- 本DHCの一次エネルギー換算COPは、全国の中でトップレベル
- CO_2排出量は全国平均を46%下回った

熱源機の長寿命化



最も使用頻度が高いTRの積算運転時間でも、
10年で約21,000時間とDHC運用時間の1/4以下

年間の負荷変動に対してこそ蓄熱が効く成功のシナリオ

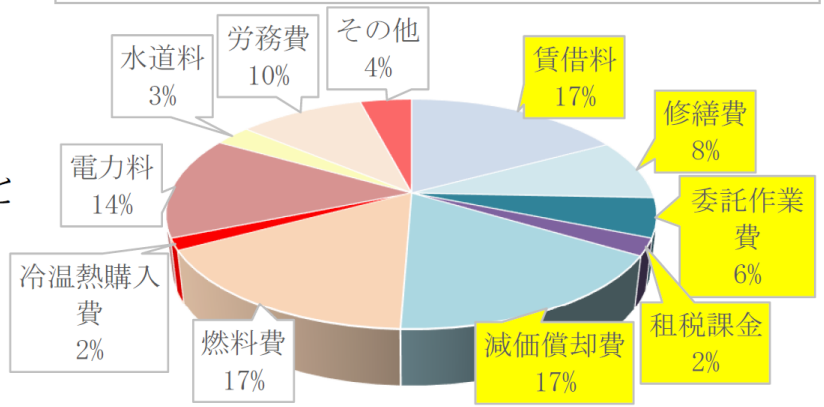


熱源と蓄熱槽の運用コスト

熱源機器は維持のため稼動時間が短くともエネルギー費以外に
建設費の約19%の年間支出が出る

減価償却費　法定耐用年数　17年定額法で5.9%
維持管理費　年平均すると工事費の3%前後
金利　工事費の1～3%前後
租税、保険　工事費の1.4%前後
スペースコスト　建物を賃借した場合減価償却費と
同等の賃料　自己建物でも有効利用面積が減る

参考　熱源を一括管理する地域熱供給会社の
年間支出内訳



蓄熱は初期コスト以外には
エネルギー費のみならず点検や修繕などの管理費が不要

蓄熱槽は運用管理費が非常に少ない仮想熱源

同時に運用管理費が非常に少ない電力調整手段

躯体築造蓄熱槽の法定耐用年数の会計上の効果

減価償却費計算上の建物、機器の法定耐用年数
（減価償却資産の耐用年数に関する省令　別表　抜粋）

種類	用途	SRC,RC造
建物	事務所用・美術館用・その他	50
建物付属設備	電気設備（蓄電池電源設備）	6
	電気設備（その他）	15
	冷暖房設備、冷凍機22kW以下	13
	冷暖房設備（その他）	15

■躯体築造蓄熱槽についての法定耐用年数は示されていないが、現状では建物と同じとできる。付属する断熱防水も同様

■蓄熱を仮想熱源とすると年度会計上は躯体築造の蓄熱槽は50年で熱源設備15年の30％に小さくなり減価償却費が減少する

■50年に及ぶ非常に長い期間電力調整力として利用できる

地下の耐震性と地域貢献の可能性

日本の高い土木技術にも支えられて地下埋設物は、阪神大震災・東日本大震災の際にも致命的な被害は報告されていない。

神田の明治時代の煉瓦造りの下水は関東大震災他空襲や色々な災害を経て100有余年、現在も使われている。

地下蓄熱槽は躯体と一緒に地震動を受けるため地震動歪やコンクリート中性化も受けにくく強靭。

↓

蓄熱があると非常時にも小さい非常電力で熱を供給し続けられる

震災後の備蓄水は地域の防災性に寄与する

蓄熱は長く利用できる省エネルギーと電力調整力の社会資本となりうる

蓄熱web講座

一般財団法人 ヒートポンプ・蓄熱センター

English　組織のご案内　文字サイズ 小 中 大　サイト内検索　賛助会員ページ

ヒートポンプ・蓄熱システムを学ぼう | 個人のみなさま | 法人のみなさま | 技術情報 | 国際事業 | お役立ち情報 | お問い合わせ

トップページ > ヒートポンプ・蓄熱システムを学ぼう > WEB講座

ヒートポンプ・蓄熱システムを学ぼう

- ヒートポンプについて +
- 蓄熱について +
- 設置台数・ピークシフトkW
- ヒートポンプと再生可能エネルギー
- エネルギー情勢・政策 +
- WEB講座 −
  - WEB講座
  - ヒートポンプWeb講座
  - 蓄熱Web講座
  - 蓄熱Web講座Pro

WEB講座

Dr.イバモトが、ヒートポンプ・蓄熱システムにわかりやすく解説！！
豊富な説明とアニメーションで楽しみながら学べます。

ヒートポンプWeb講座

Dr.イバモトがヒートポンプの仕組みを大解剖。アニメーションを使って、どなたにもわかりやすく、ヒートポンプの基本から特長までをご紹介いたします。

蓄熱Web講座

Dr.イバモトが蓄熱の仕組みを大解剖。アニメーションを使って、どなたにもわかりやすく、蓄熱の仕組みをご紹介いたします。

蓄熱Web講座PRO

ヒートポンプWEB講座・蓄熱WEB講座から一歩進んで、Dr.イバモトがより高度な内容を大解剖。皆さんの「ギモン？」を「ナットク！」に。

- https://www.hptcj.or.jp/Portals/0/data0/ts_pro/index.html