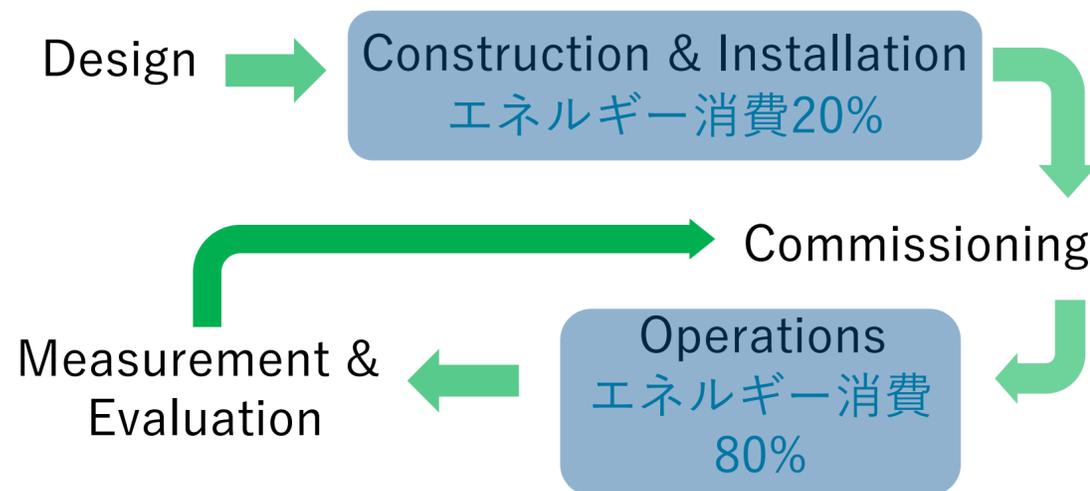


その1 研究概要・目的

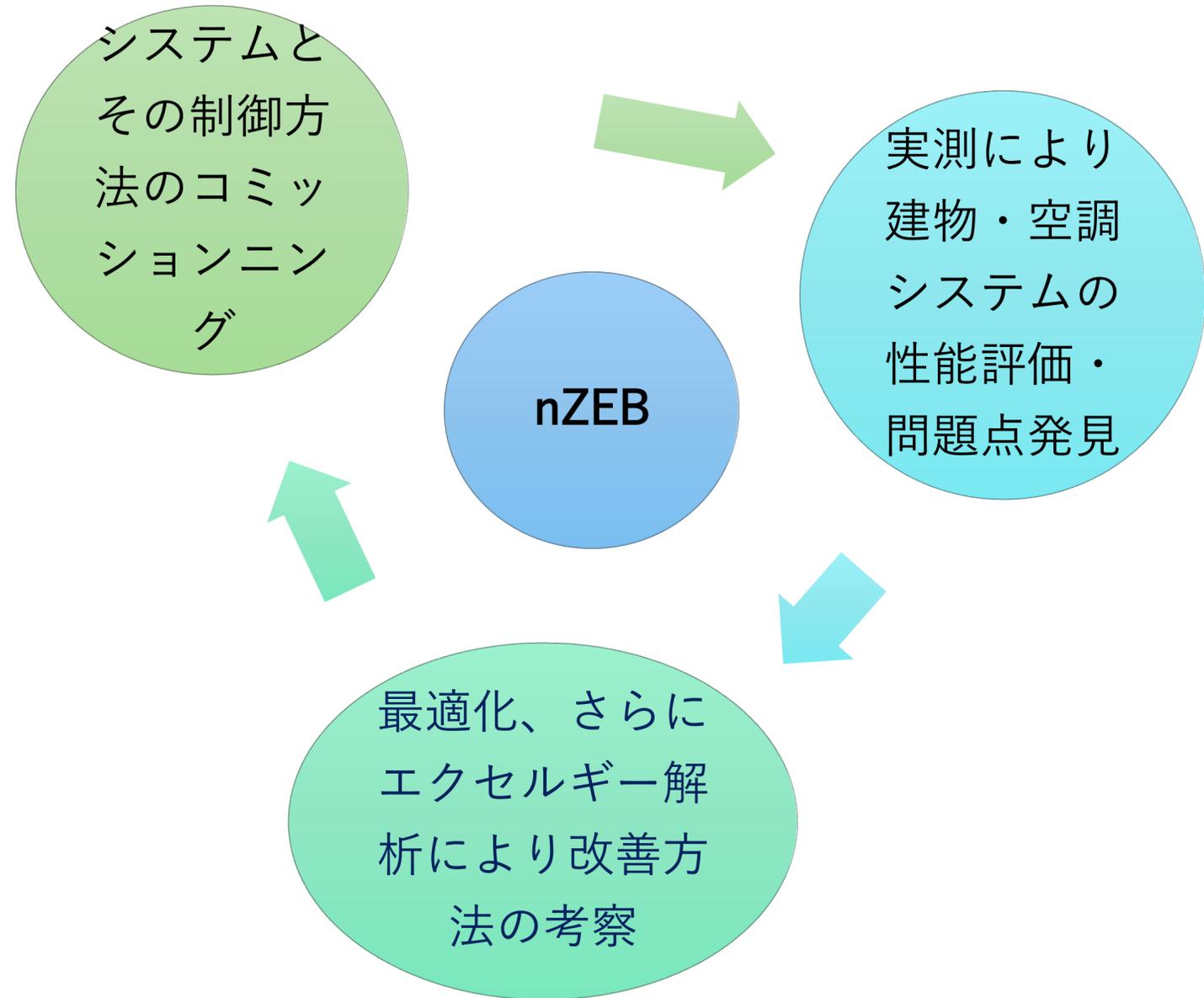
研究背景

- ◆建物のエネルギー消費 40%
- ◆省エネビルディングに注目が集まる
passive building, green building, nearly zero-energy building (nZEB), energy plus/positive building . . .
- nZEB**
高いエネルギー性能を持つ建物であり、その建物の微小なエネルギー需要がon-site或は近くの再生可能資源によりカバーされる (EU Energy Performance of Buildings Directive EPBD)
- ◆省エネルギー建物の現状
 - ・様々な省エネルギー技術の導入
 - ・設計時に想定された運用条件が必ずしも適切でない
 - ・高効率な運転を実現するには、運用方法の工夫が必要
- ◆建物life cycleのエネルギー消費



→ 運用方法の最適化、さらにライフサイクルにわたる性能検証することが建物のエネルギー消費量削減の解決策

概要・目的



✓実測により運用段階の空調システムの性能評価と問題点発見を行い、運用方法の最適化更にエクセルギー解析により改善方法を考察する

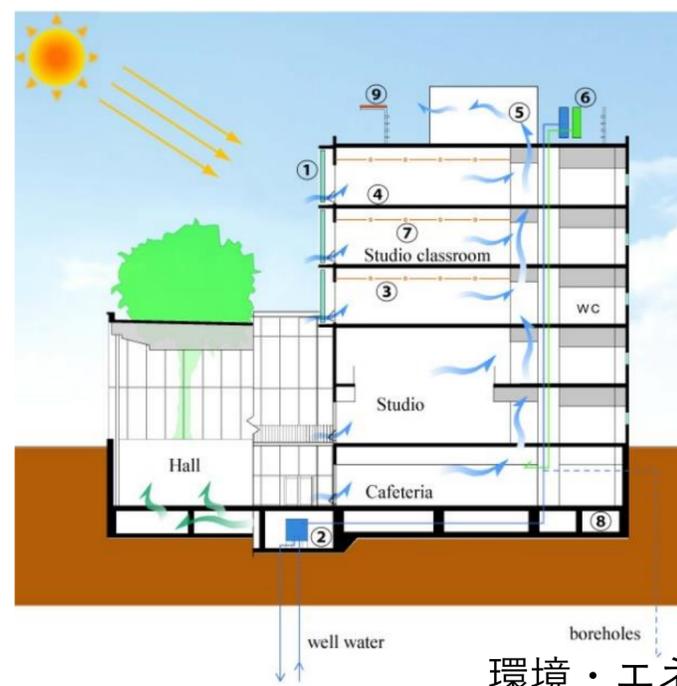
その2 実測によりnZEBの性能評価

nZEBの概要

- 東京大学駒場Iキャンパス
- 建築面積：940 m²
- 延床面積：4,500 m²
- 地上5階、地下1階
- S, RC構造
- 2011年5月竣工、9月利用開始



省エネルギー技術概要図



地中熱・地下水ヒートポンプ
天井面放射パネル
デシカント空調

- smart double skin cladding system by adaptively movable louvers
- heat pump system by ground source/water utilization
- radiant cooling/heating panel system
- thermal mass utilization
- natural ventilation by chimney effect
- desiccant dehumidifier by exhaust heat from heat pump
- LED lighting system
- potable water saving including rain water utilization
- PV
- integrated building operation system by AI based control

蓄熱槽
自然通風
LED照明
太陽光発電
ダブルスキン

COP : 9% →
ポンプ電力
消費が大きい

環境・エネルギー総合マネジメントシステム

性能評価

◆年間エネルギー消費

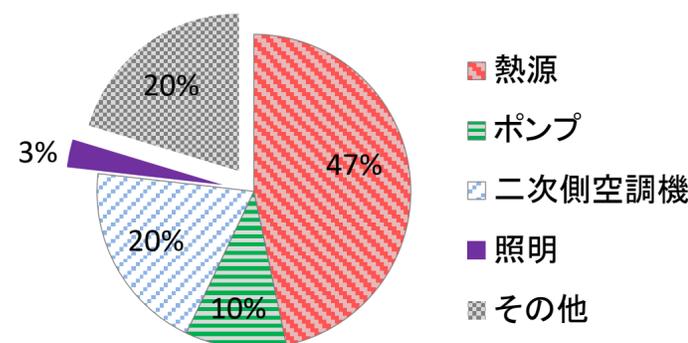
- 予想一次エネルギー消費量の推移及び計測値



一次エネルギー消費:
640 MJ/m²・年,
大学平均値の35%

→ 性能改善などの工夫によりnZEB実現が可能

◆電力消費の内訳 (2011-2012)



空調システムのエネルギー消費量:
建物エネルギー消費量の77%

→ 空調システムの運用段階の実績・性能評価が必要
→ ZEB化を進めるために、運用方法の工夫によってさらなる高効率な運転の実現が必要

◆空調システムの実測

蓄熱運転	設計方法	提案方法
冷水温度 [°C]	4.5	8.7
蓄熱量 [MJ]	3751	4197
電力消費 [kWh]	430	437
GSHP COP	4.6	5.0
システムCOP	2.4	2.7

冷水温度を上昇することにより、COPが増加

→ 冷水温度の最適化が必要

ポンプ電力消費が大きい

→ ポンプ電力削減のため、チューニングが必要

その3 ヒートポンプのエクセルギー解析

温エクセルギー・冷エクセルギー

◆エクセルギー解析の特徴

- ・「使えるエネルギー」の変化の定量化
- ・エクセルギーのロスが大きい箇所の発見・改善方法の考察
- ・エクセルギーの定義

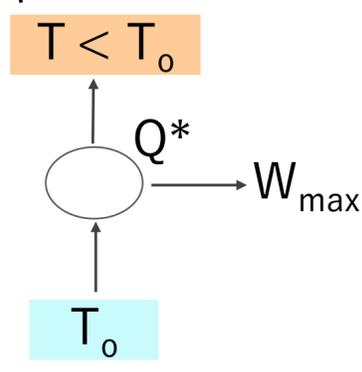
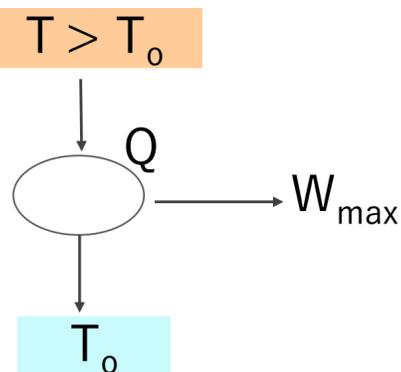
高温熱源から、低温熱源に熱を捨てることにより、取り出すことのできる最大仕事, E_x

◆温・冷エクセルギーの定義

- ・低温エクセルギー解析に対応した概念
- ・外気温度 T_0 を基準温度とする

温エクセルギー

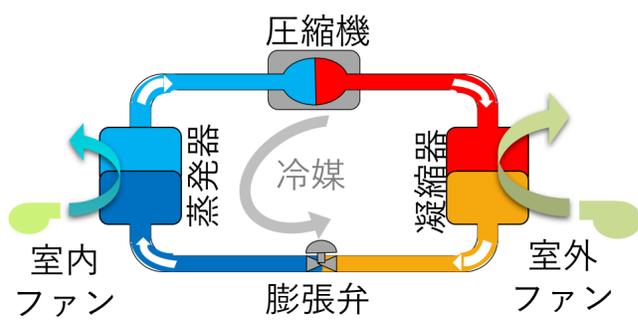
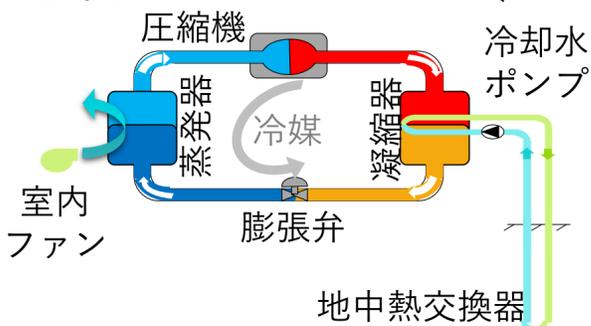
冷エクセルギー



$$E_x = W_{\max} = Q(1 - T_0 / T) \quad E_x = W_{\max} = (1 - T_0 / T)(-Q^*)$$

分析対象

地中熱ヒートポンプ (GSHP) 空気熱源ヒートポンプ (ASHP)



ヒートポンプのエクセルギー収支

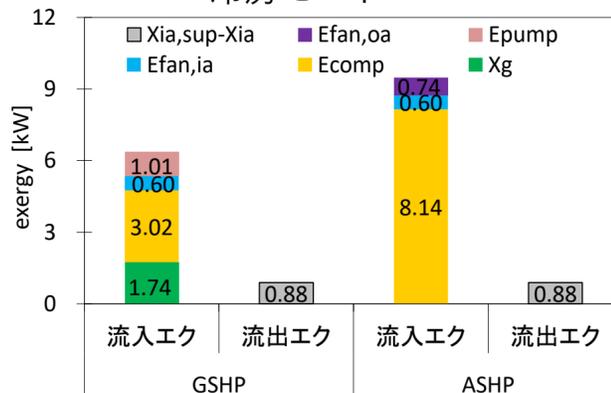
◆システム全体のエクセルギー収支式

$$\text{GSHP} \quad \underbrace{(E_{\text{comp}} + E_{\text{fan,ia}} + E_{\text{pump}})}_{\text{流入}} + X_g - \underbrace{(X_{\text{refcycle}} + X_{\text{evap}} + X_{\text{cond,GS}} + X_{\text{gex}})}_{\text{消費される}} = \underbrace{X_{\text{ia,sup}} - X_{\text{ia}}}_{\text{流出}}$$

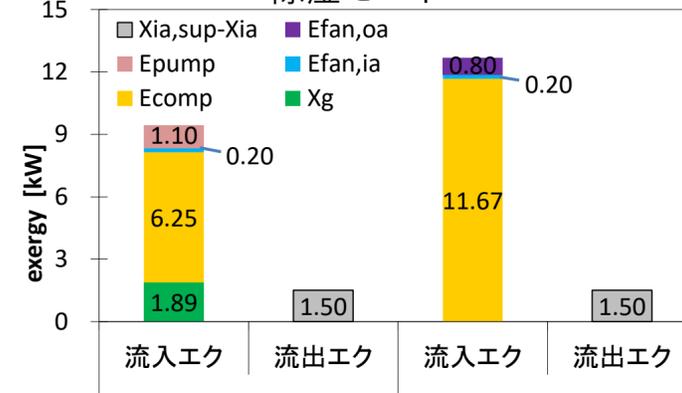
$$\text{ASHP} \quad \underbrace{(E_{\text{comp}} + E_{\text{fan,ia}} + E_{\text{fan,oa}})}_{\text{流入}} - \underbrace{(X_{\text{refcycle}} + X_{\text{evap}} + X_{\text{cond,AS}} + X_{\text{oa,out}})}_{\text{消費される}} = \underbrace{X_{\text{ia,sup}} - X_{\text{ia}}}_{\text{流出}}$$

◆流入・流出エクセルギー

冷房モード



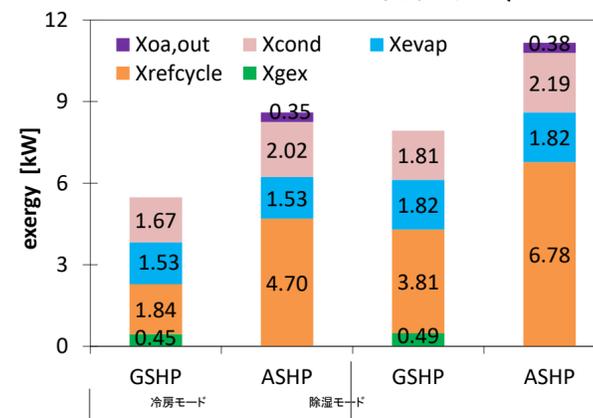
除湿モード



η_1	19%	9%
η_2	27%	0

η_1	20%	12%
η_2	20%	0

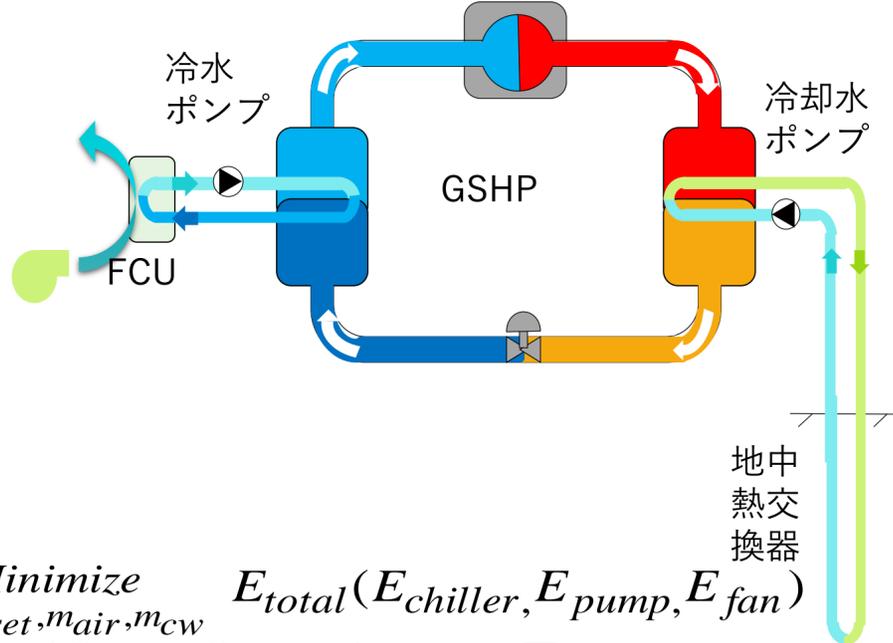
◆エクセルギー消費 (ロス)



エクセルギー効率：GSHP 20%
ASHP 10%
エクセルギー消費：GSHP < ASHP
冷房モード < 除湿モード
冷媒サイクルで消費されるエクセルギーが最も大きい

その4 地中熱ヒートポンプシステムの最適化とエクセルギー解析

最適化計算のモデリング



$$\text{Minimize } E_{total}(E_{chiller}, E_{pump}, E_{fan})$$

$$E_{total}(Q_{load}, Capacity_{rated}, T_{chw,set}, m_{air}, m_{cw})$$

入力パラメータ 設計パラメータ
 遺伝的アルゴリズム (GA) を用い、最適化計算

- ▶ 設計パラメータにより染色体を作成
- ▶ 個体数: 200, 最大世代: 1200

◆ 計算条件 (入力パラメータ)

- ・ 冷房負荷 $Q_{load} = 8.6 \text{ kW}$
- ・ GSHPの定格能力 $Capacity_{rated} = 11 \text{ kW}$

◆ 計算結果

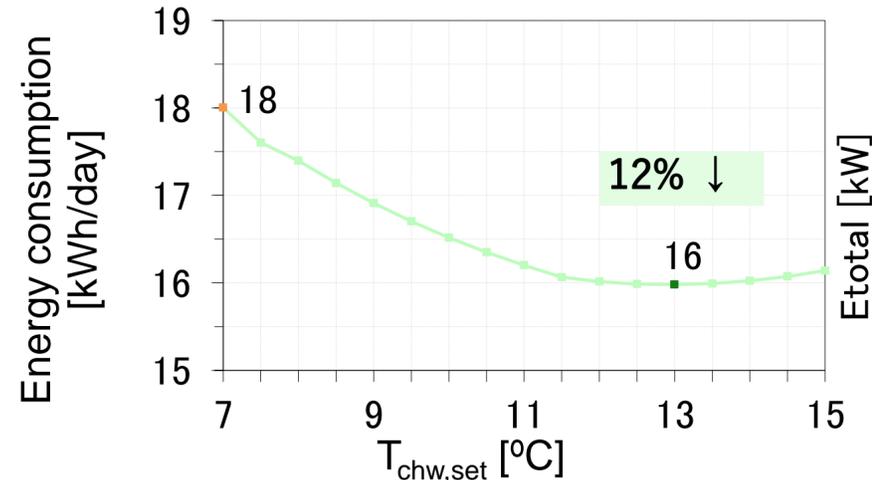
(設計パラメータの最適値・最小電力消費量)

- ・ 冷水設定温度 $T_{chw,set} = 13^{\circ}\text{C}$
- ・ FCUの風量 $m_{air} = 3700 \text{ m}^3/\text{h}$
- ・ 冷却水の流量 $m_{cw} = 41 \text{ L}/\text{min}$
- ・ 最小電力消費 $E_{total} = 1.9 \text{ kW}$

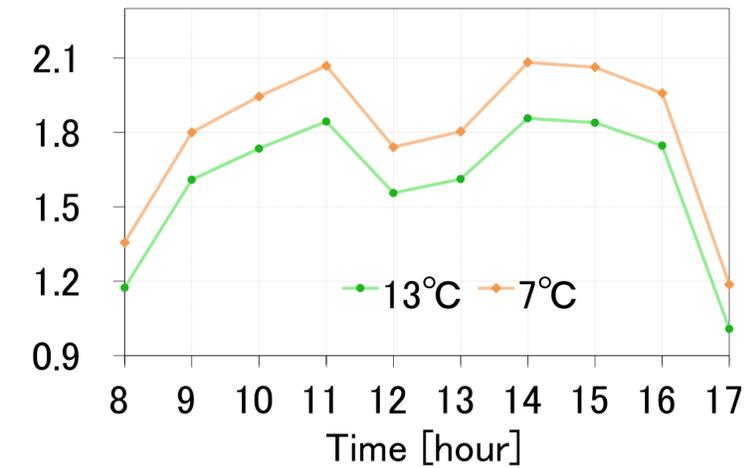
最適化結果とエクセルギー分析

◆ 一日の電力消費

冷水設定温度による電力消費の変化

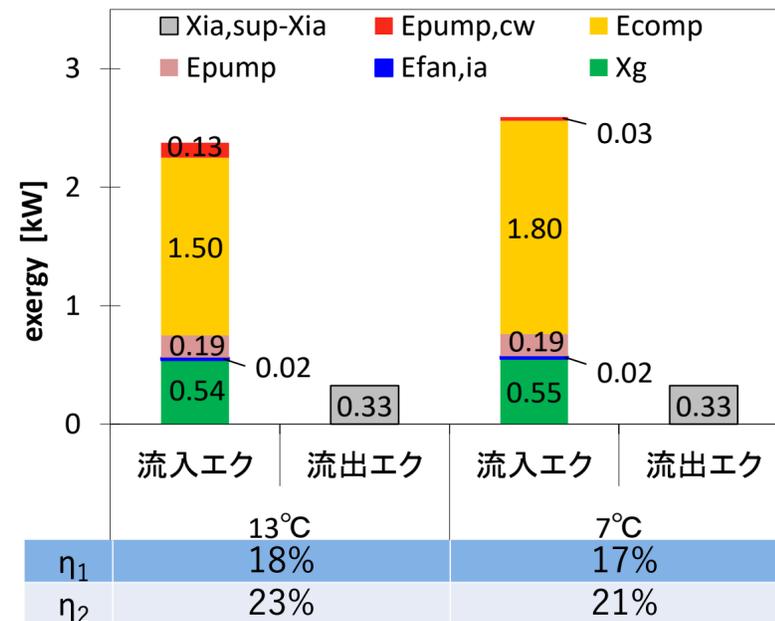


電力消費の時刻変化

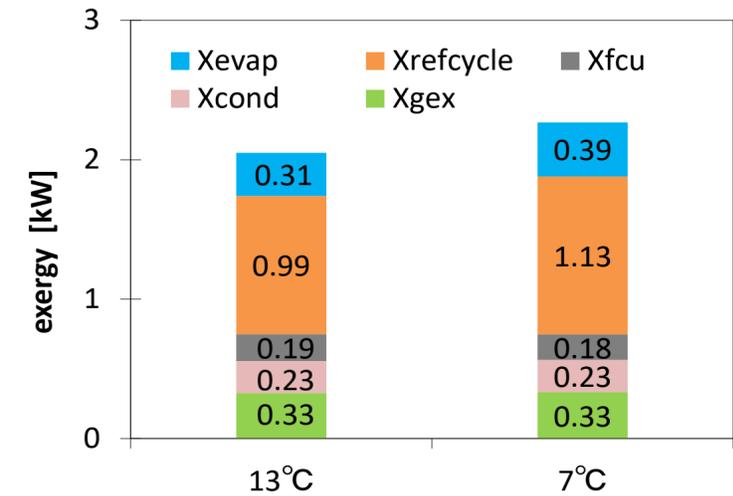


◆ エクセルギー分析

流入エクセルギー・流出エクセルギー



エクセルギー消費 (ロス)



最適化の結果：冷水温度が13°Cとなり、7°Cと比べ、エネルギー消費12% ↓
 最適化したケースではエクセルギー効率・自然エクセルギー利用率 ↑
 エクセルギーロス ↓