



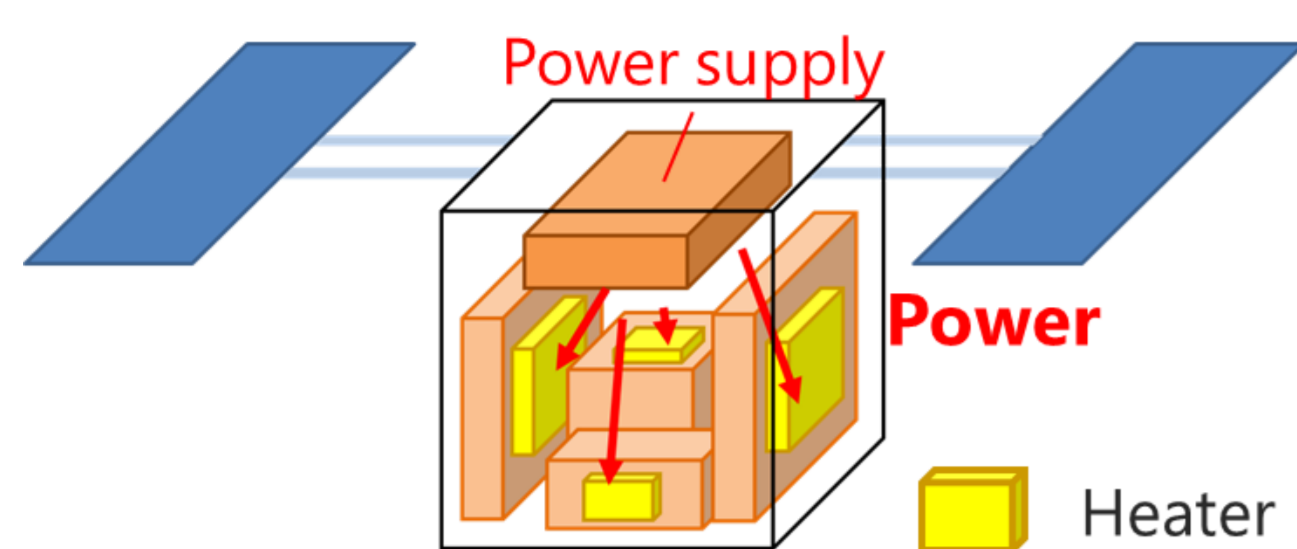
ピーク電力制約を確保する同報送信型分散ヒーター制御システム

P-141

川口 淳一郎(JAXA)、大木優介(東大院)、佐伯 孝尚(JAXA)、森 治(JAXA)

ピーク電力カットと電力分配方式

○研究背景・目的



本研究では、宇宙機内のヒーター電力制御に、従来のサーバークライアント方式ではなく、**独立分散式**を採用することで、**簡素で低コストなシステム**を提案する。

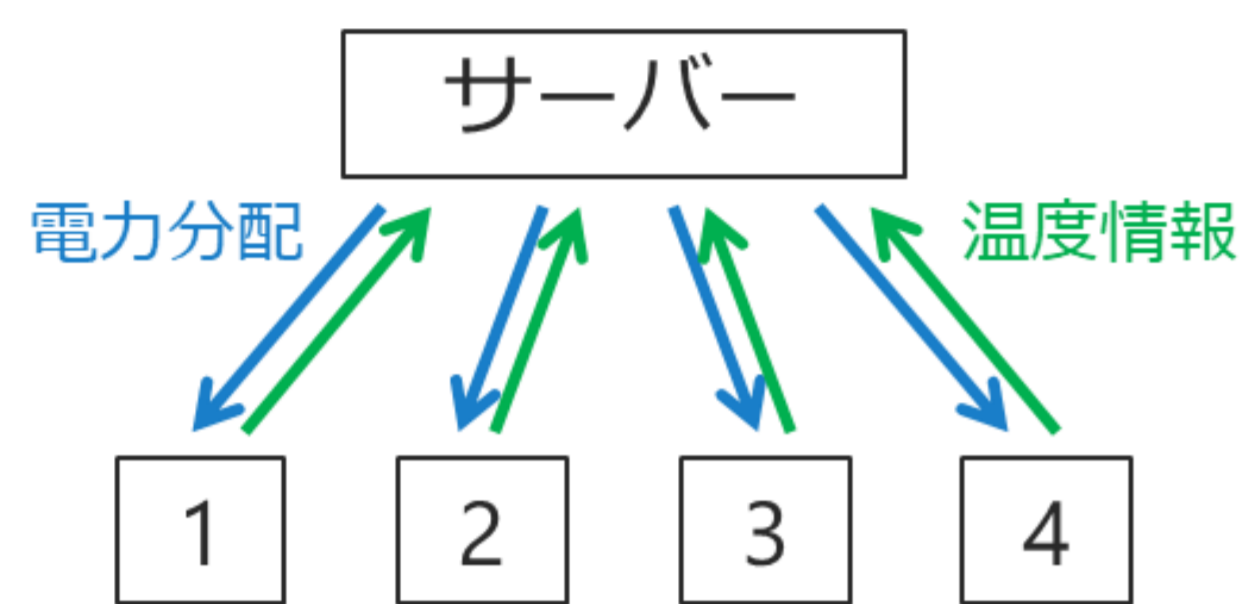
小惑星探査機『はやぶさ』で採用されていたサーバークライアント方式による電力制御では、サーバーヒーター間で**双方向に通信**を行い、サーバーが各ヒーターの消費電力を一括管理していた。しかし、この方式は、ヒーターの数の増加に伴い**通信コストが増大**する上、すべてのコンポーネントが出揃ってから全ヒーターの制御系を組むので、**開発期間が増大**する、といった問題点があった。

そこで本研究は、サーバーレスの、**独立分散方式**による電力制御を提案する。この方式では、送信機から送られる、システム全体の電力消費情報と自分の温度情報をもとに、**各ヒーターが消費する電力を独立かつ並列に判断**する。

この独立分散方式では、**片方向通信**による簡素なシステムであることから、ヒーターのモジュール化が可能で、ヒーターを自由に増設できるようになり、熱制御システム構築の**開発コストの削減・開発期間の短縮**が期待できる。

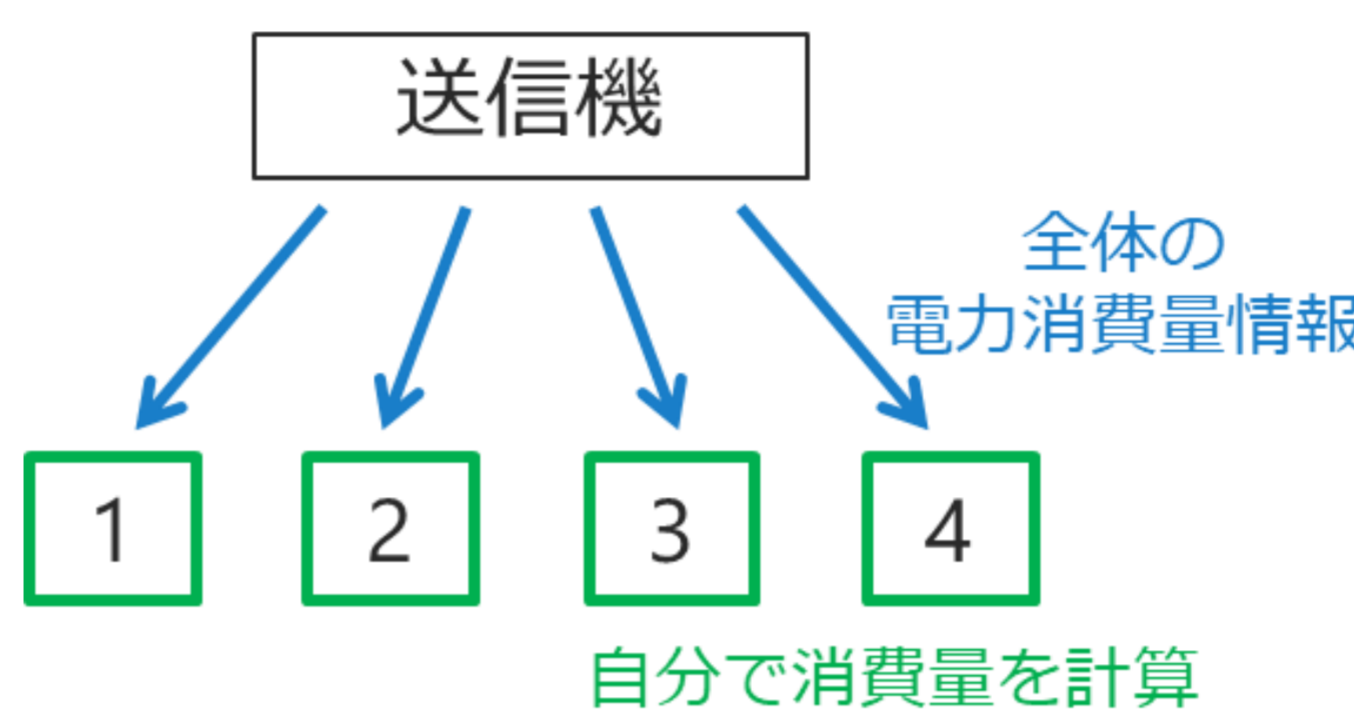
本研究では、独立分散方式によるヒーター電力制御を提案し、システム全体の電力のピークを抑え、各コンポーネントの温度が目標値に制御できることを実験実証する。

＜サーバークライアント方式＞



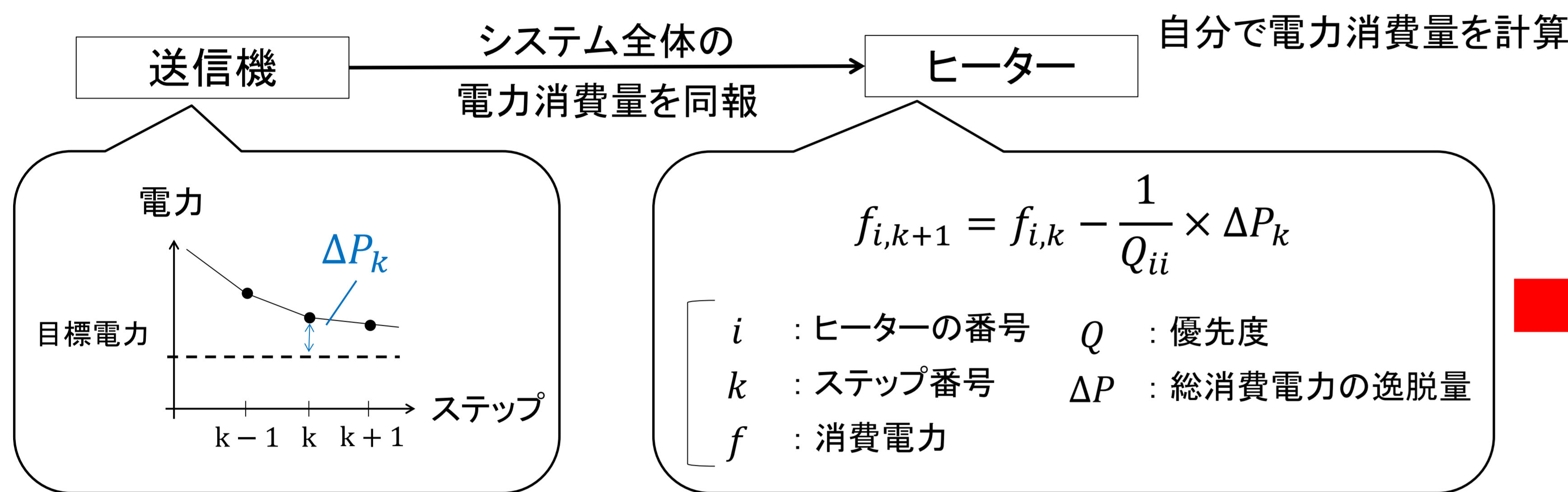
- ・特徴
サーバーが各ヒーターの電力消費を計算
- ・問題点
①システムの設計に時間がかかる
②サーバーの費用が高価

＜独立分散方式＞



- ・特徴
各ヒーターが自分で電力消費を計算
- ・利点
①システムの設計が容易
②高性能な機能を必要としない

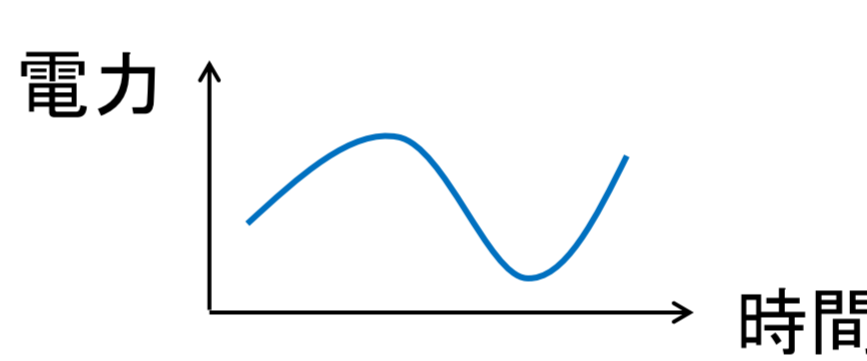
○独立分散方式における制御ロジック



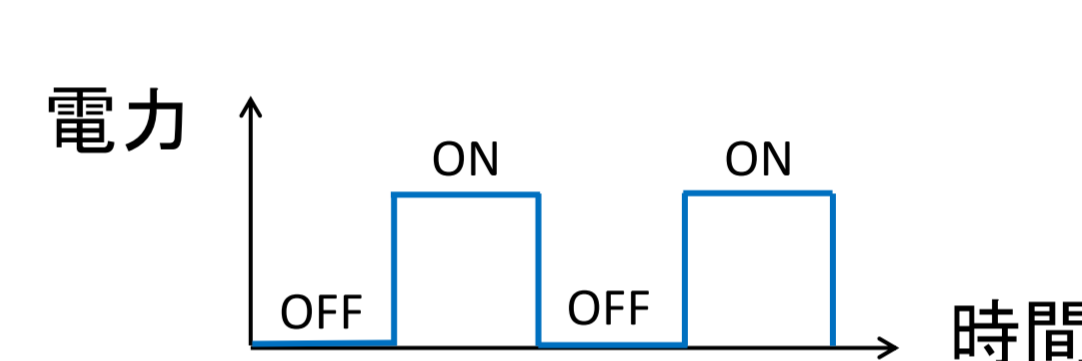
問題点

ヒーター電力はON/OFFの2値であるため、この計算式をそのまま使用できない。

一般的な電力(連続値)



ヒーター電力(2値)



提案手法

○計算式を変形

$$f_{i,k+1} = f_{i,k} - \frac{1}{Q_{ii}} \times \Delta P_k$$

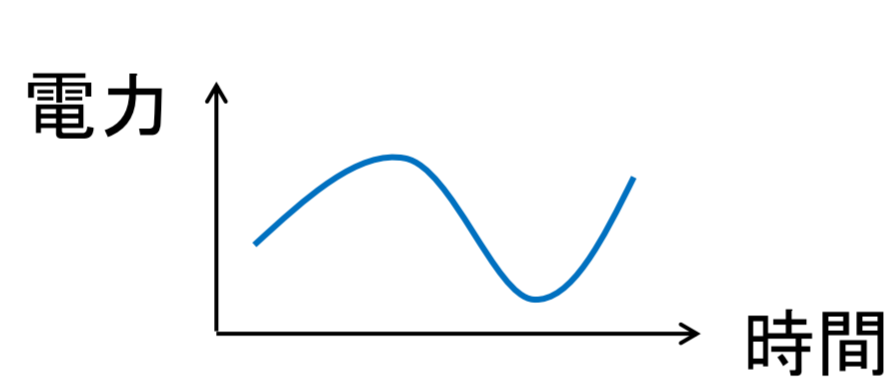
仮の指標(カウンター)を導入

$$C_{i,k+1} = C_{i,k} - \frac{1}{Q_{ii}} \times \frac{\Delta P_k}{p}$$

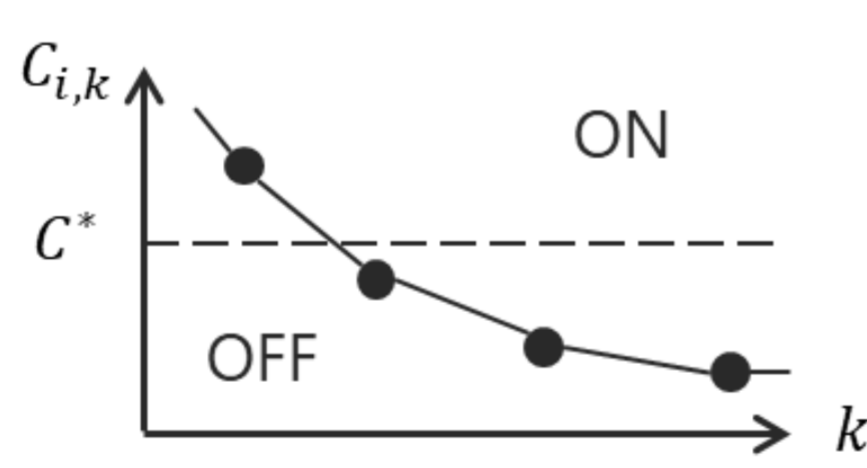
カウンター: 電力使用優先度を表す仮の指標

$$\begin{cases} C_{i,k+1} > C^* & \longrightarrow \text{ON} \\ C_{i,k+1} \leq C^* & \longrightarrow \text{OFF} \end{cases}$$

このような連続値はとれない



カウンターが閾値を超えるかどうかでON/OFFを判断



○温度による優先度

min-max制御

温度の低いものほど優先的に電力を割り当てる

システムの安定条件

$$0 < \sum_i \frac{1}{Q_{ii}} < 2$$

優先度

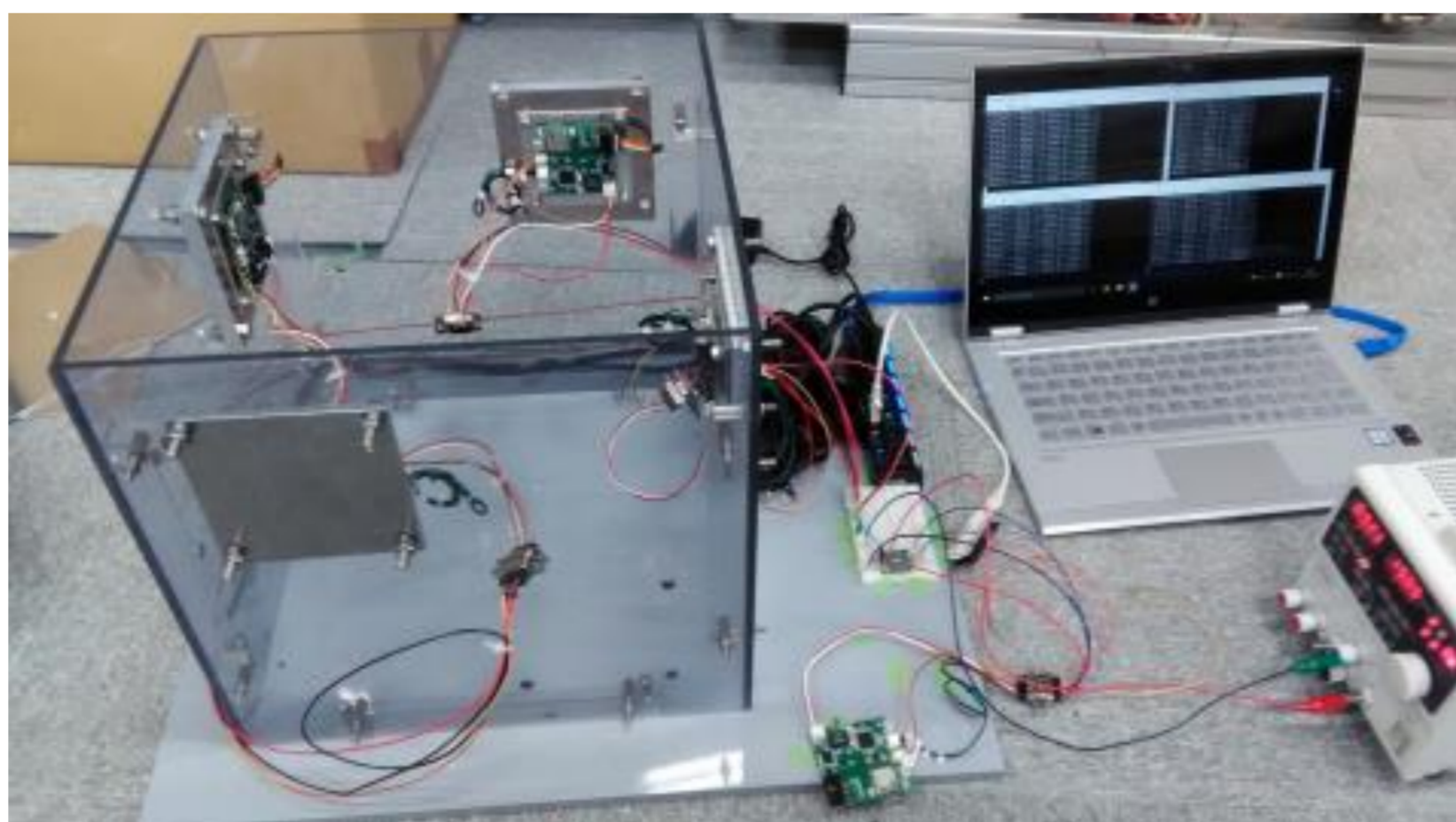
$$\frac{1}{Q_{ii}} = \begin{cases} \frac{1}{N} \cdot \frac{T_{i,k} - T_L}{T_H - T_L} & (\Delta P \geq 0) \\ \frac{1}{N} \cdot \frac{T_H - T_{i,k}}{T_H - T_L} & (\Delta P < 0) \end{cases}$$

N : ヒーターの数
 $T_{i,k}$: ヒーターの温度
 T_H : 温度上限値
 T_L : 温度下限値

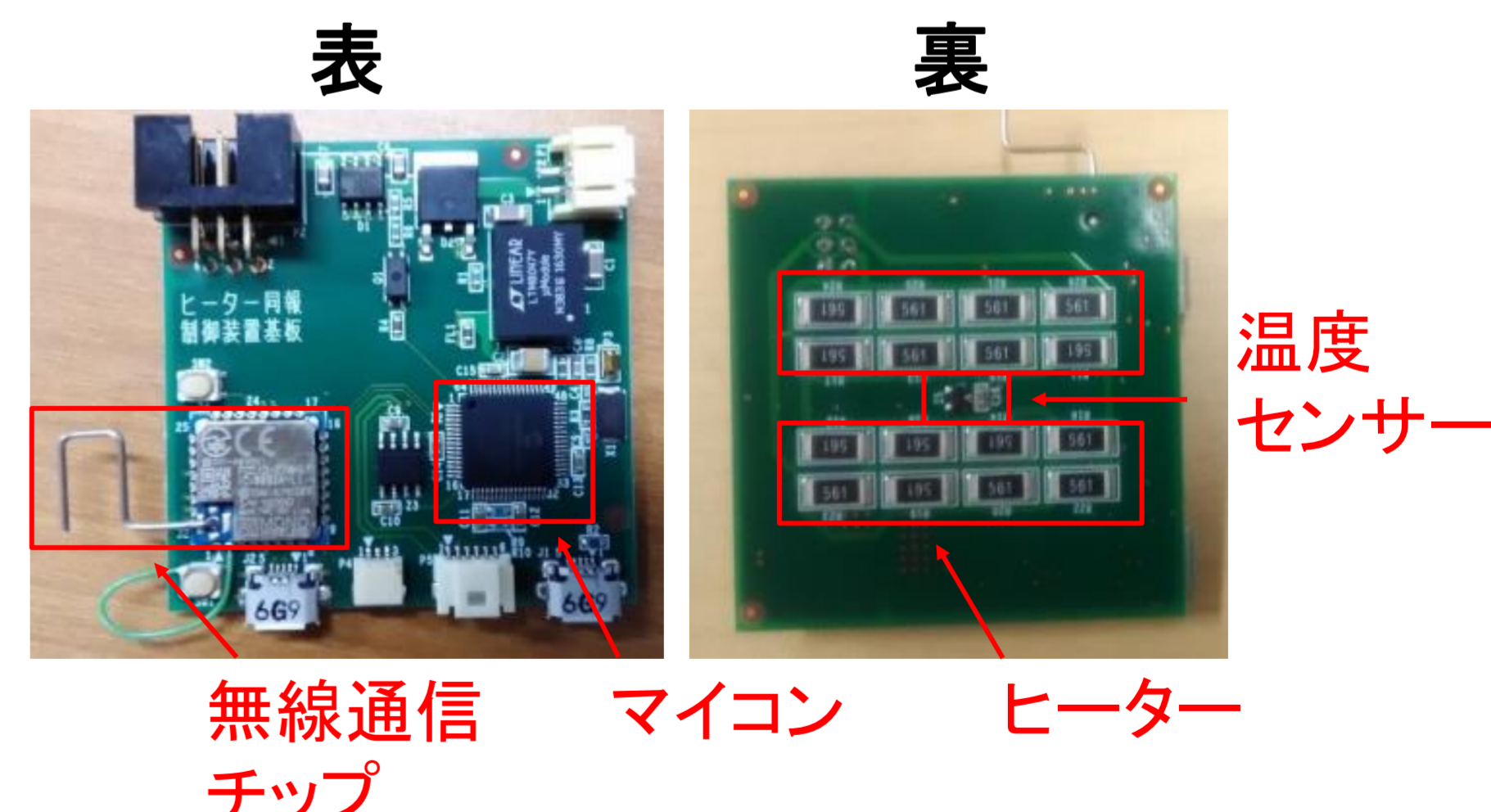
実証実験

○実験装置

実際に制御が可能であることを実証するため、模擬衛星を製作した。また、今後の宇宙機で実用することを考え、今回、ヒーター、温度センサー、マイコン、無線通信チップを備えた、小型の熱制御モジュールを開発した。無線化することで、宇宙機の軽量化も期待できる。



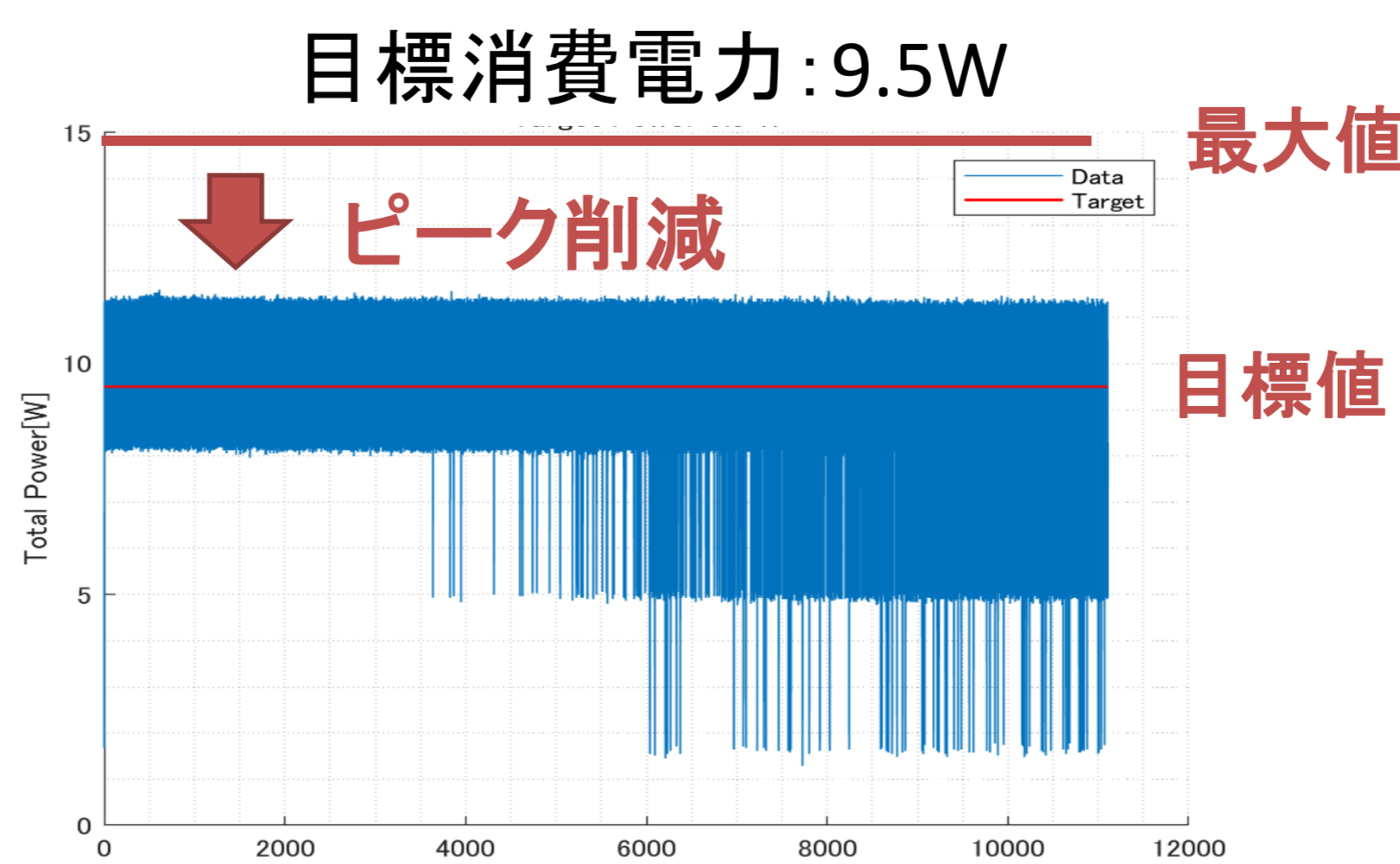
模擬衛星(実験装置)



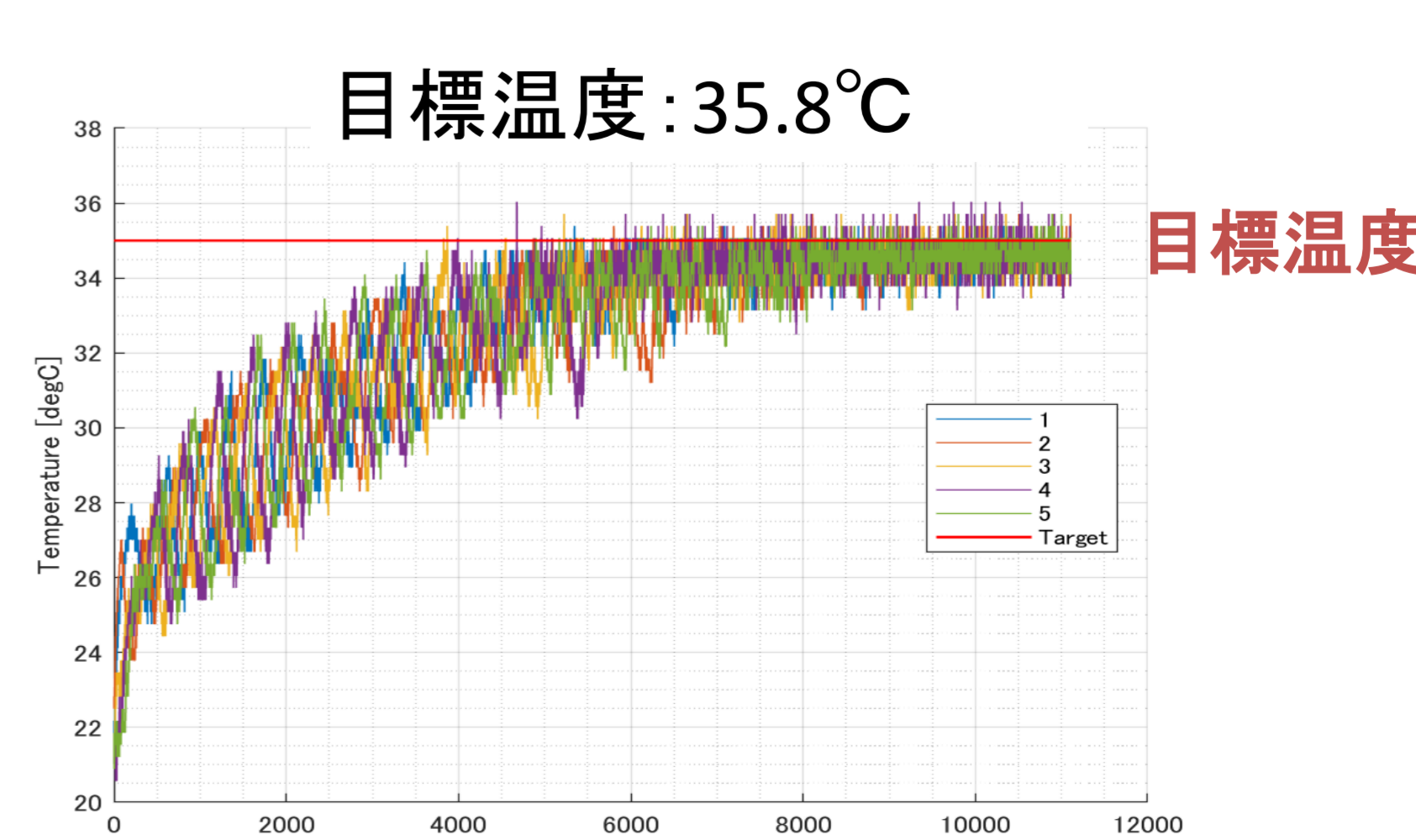
熱制御モジュール

○実験結果

この熱制御モジュールを、ペイロードとみなしたアルミ板に設置し、アルミ板の熱制御試験を行った。実際に右図のように**電力消費量のピークを抑え**、温度に関しては、温度が低いものほど優先的に電力を割り当てる、という**min-max制御**により、**各アルミ板の温度を均質に目標温度に制御**できることを確認した。



総電力の時間変化



各ヒーターの温度履歴