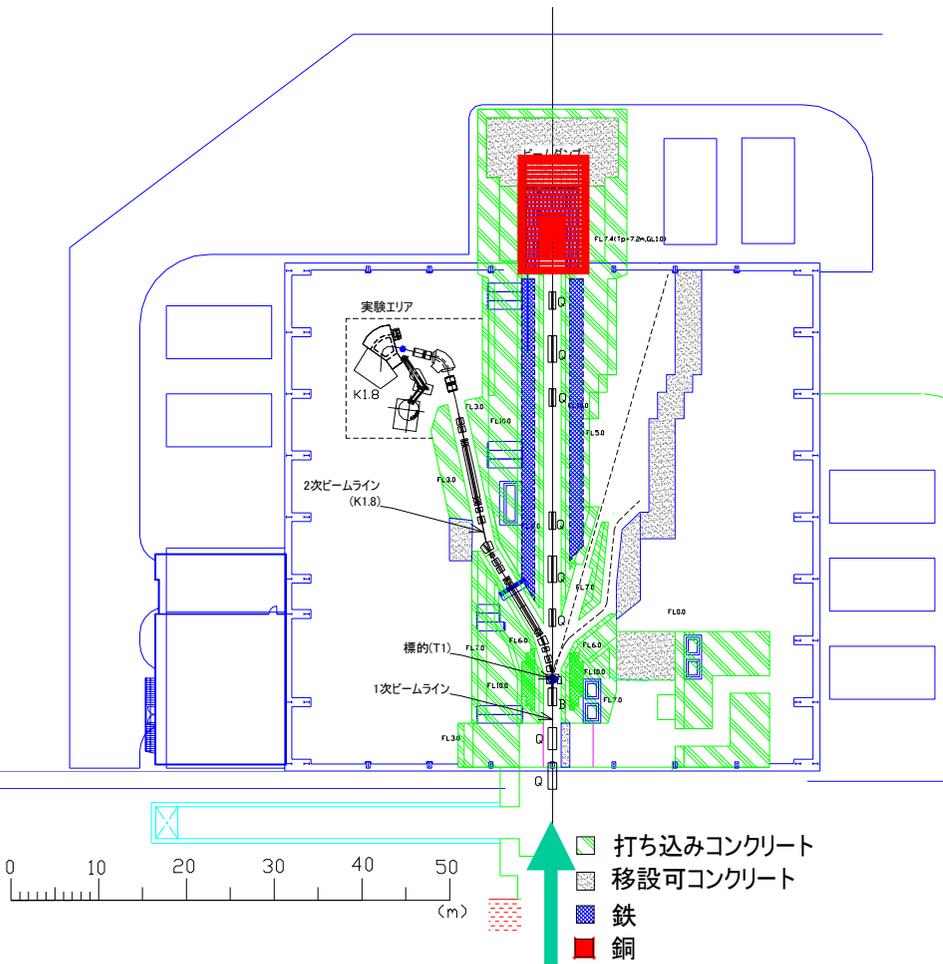


DESIGN and R&D status OF NP-hall BEAM DUMP IN J-PARC

KEK 高エネルギー加速器研究機構
J-PARC ハドロンビームライングループ
上利恵三



Outline



✧ **ビームダンプの形状の最適化**

←ビームダンプコアと遮蔽体の設計

✧ **エネルギー寄与による発熱**

←冷却装置の設計・開発

←コリメータにも応用できる

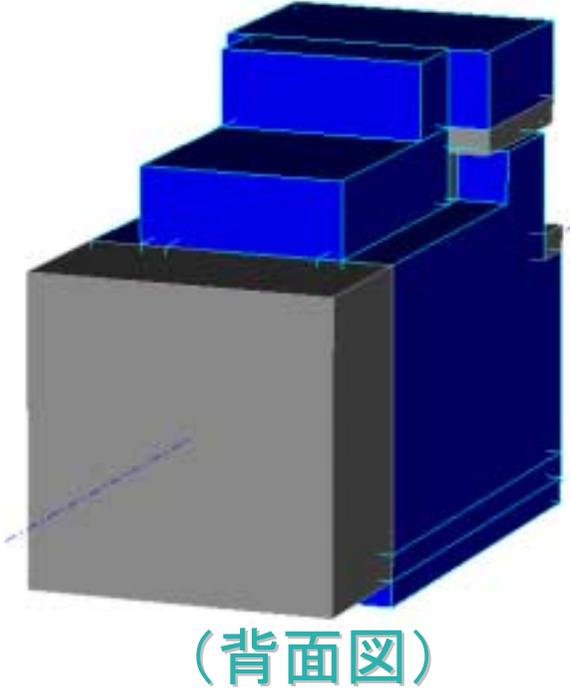
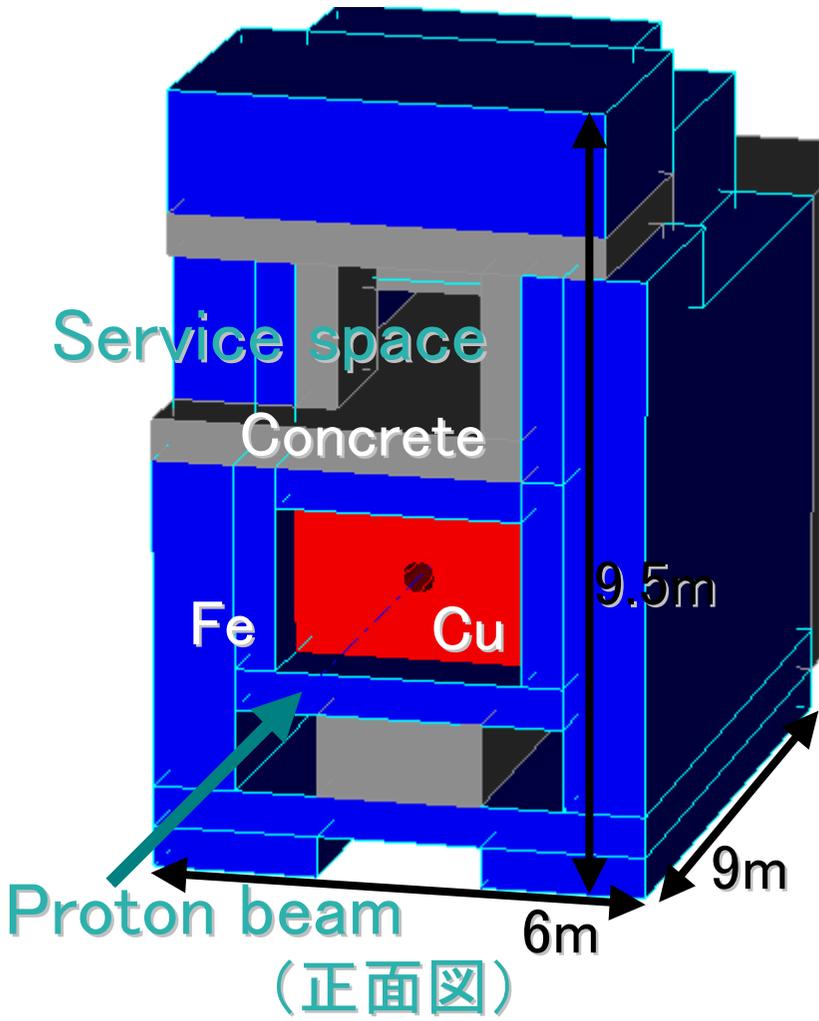
✧ **I 期計画から II 期への移設問題**

←移動方法・装置の確立

Proton beam



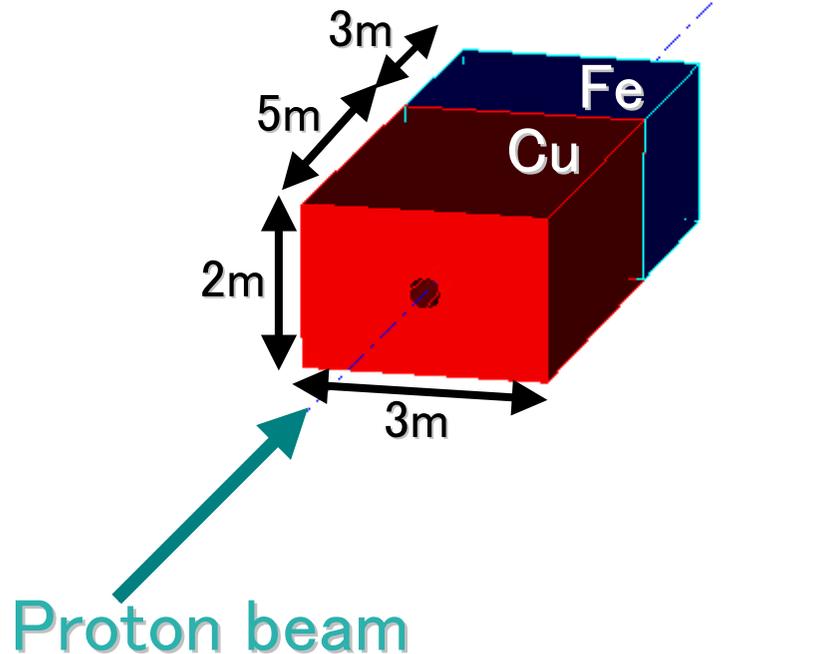
How to build



- ◆ コアは高い熱伝導率と耐放射線性から無酸素銅を選択
- ◆ メンテナンスを考慮に入れた構造 → サービススペース (S.S.)



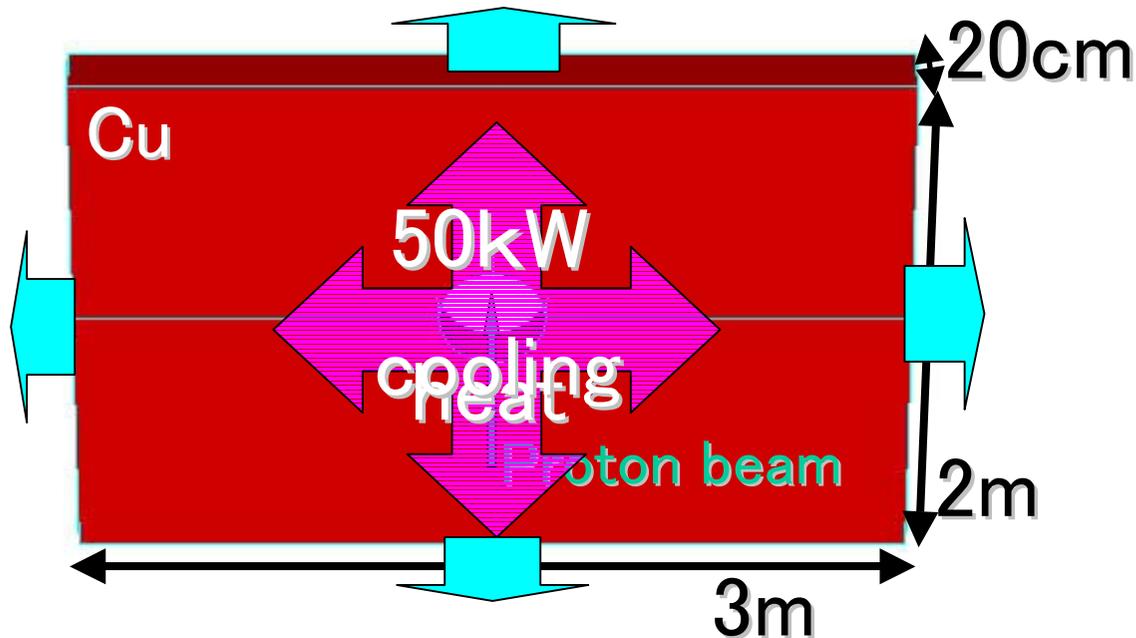
Core part of beam dump (1)



- ◆ 銅: $2 \times 3 \times 5 \text{m}^3$ (約270ton)、鉄: $2 \times 3 \times 3 \text{m}^3$ (約140ton) からなるコアを予定。
- ◆ エネルギー寄与をz方向に分散させるため、中心には円錐状の空洞がある。
- ◆ その空洞は常時排気する。



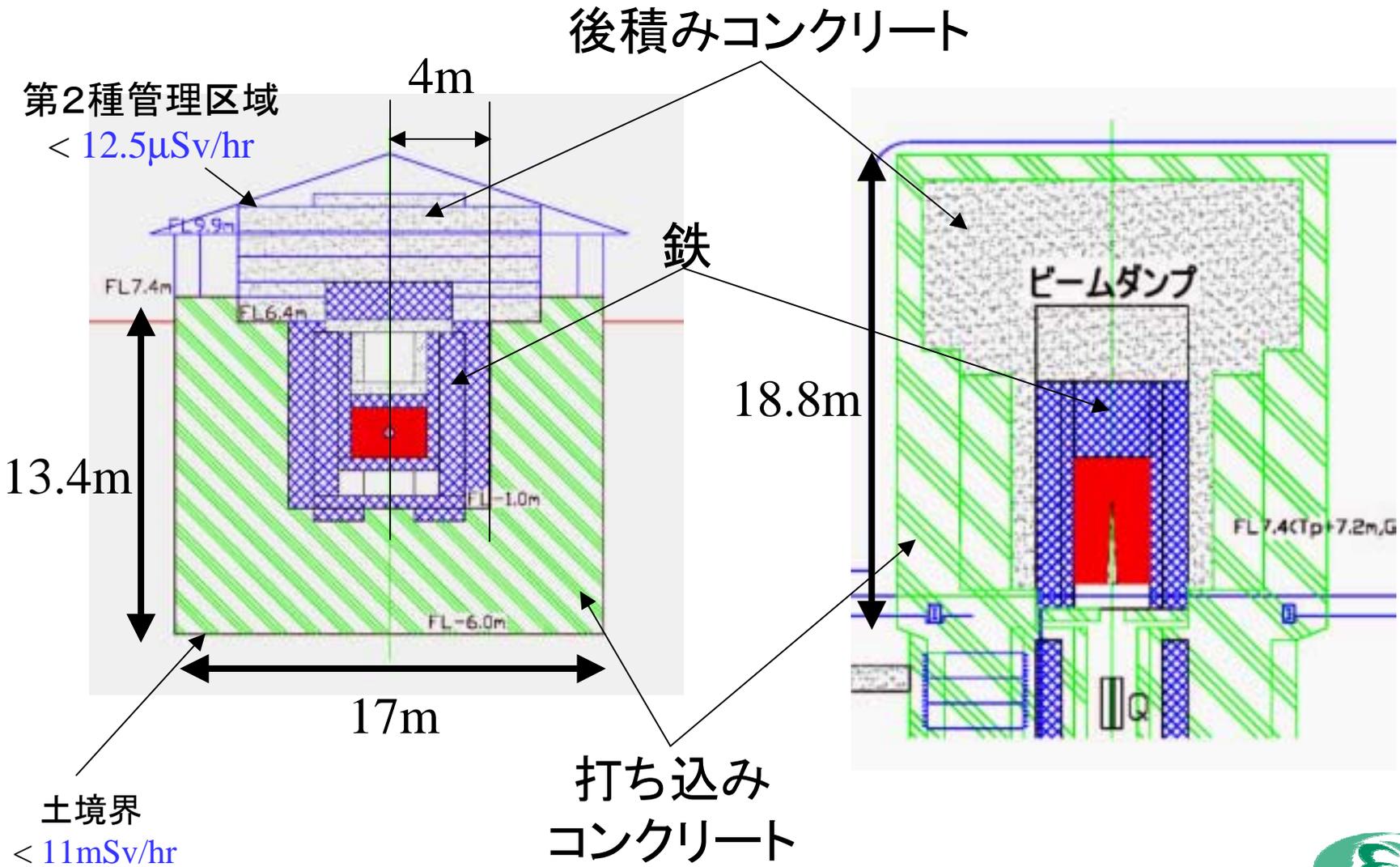
Core part of beam dump (2)



- ◆ 日本で供給可能な無酸素銅のケーキ最大寸法
 - 0.62m^W x 0.23m^T x 6.0m^L 8t
H社
 - 1.07m^W x 0.18m^T x 6.4m^L 11t
F社
 - 1.05m^W x 0.26m^T x 4.0m^L 9t
M社
- ◆ 発熱を放射状に逃がす構造である。
- ◆ 離れた場所から冷却する事により、水の放射化を低減させている。
(0.7Bq/cc/30days)
- ◆ 表面の残留放射能を低減。



Structure

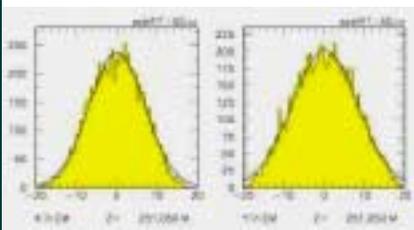


Heat analysis by MARS & ANSYS

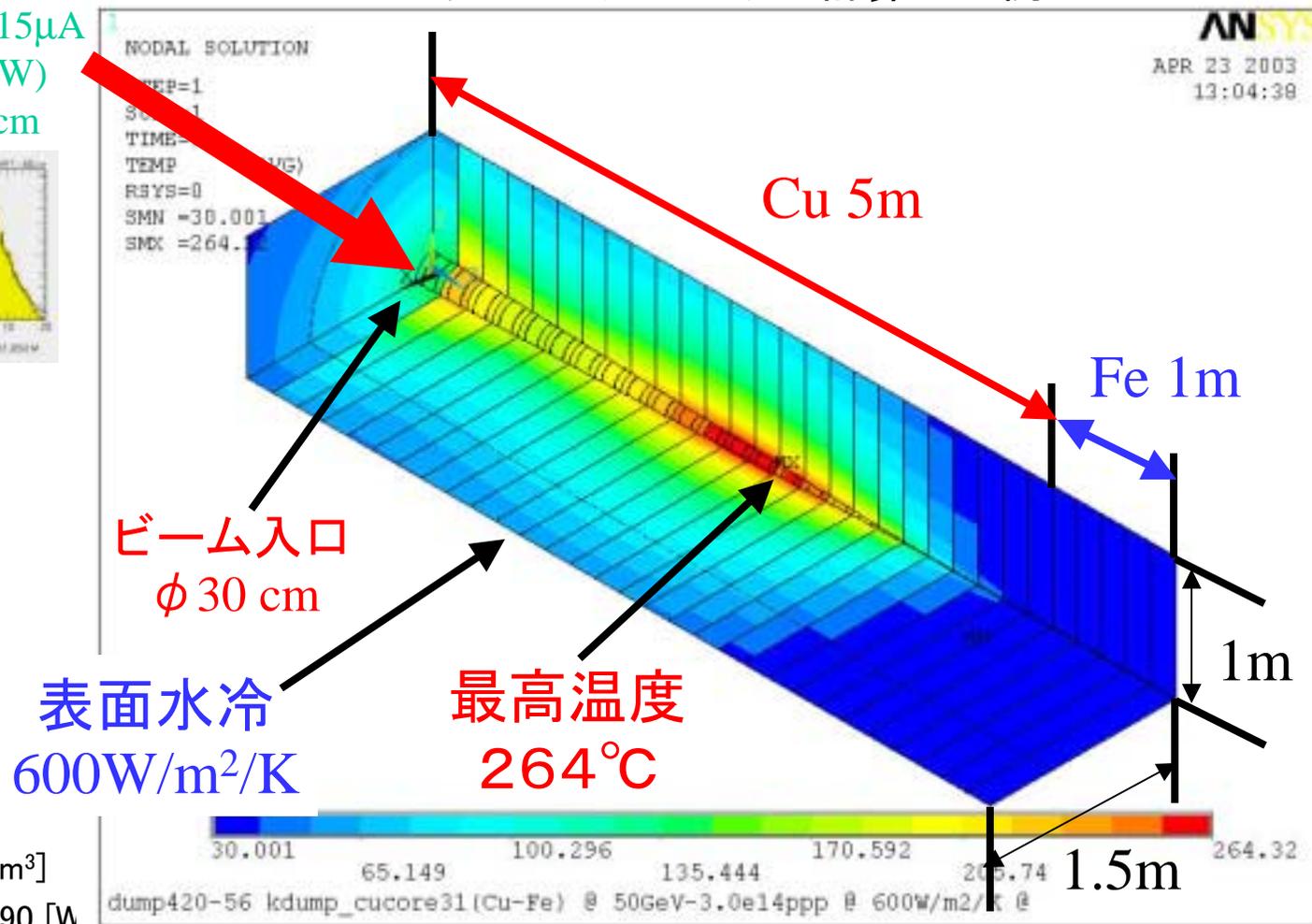
2004/05/08

(calculated by Y. SATO & M. MINAKAWA)

Proton beam
50GeV-15 μ A
(750kW)
 ϕ 40cm



ダンプコア1/4モデル計算の一例



◆ 無酸素銅

- $\rho = 8.9$ [g/cm³]
- 熱伝導率390 [W]



Candidate for cooling device

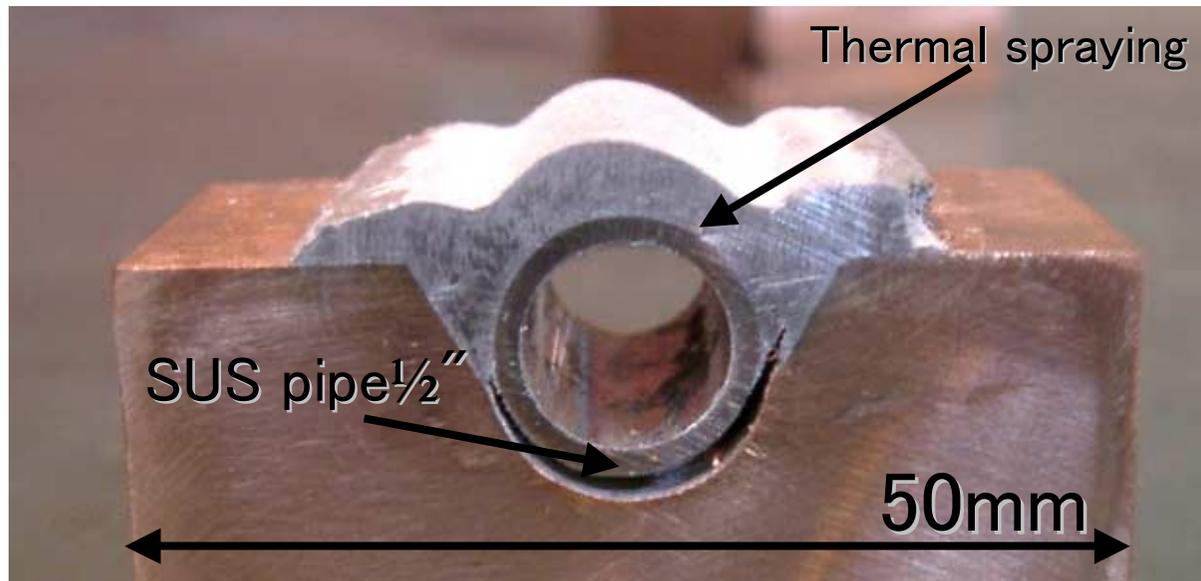
◆ 3つの試験方法の比較

	肉厚溶射	BTA	摩擦攪拌接合 (FSW)
方法	<ul style="list-style-type: none"> 溝を掘り、配管し、その上から溶射する 	<ul style="list-style-type: none"> ドリルで深穴を形成し、それを水路とする 	<ul style="list-style-type: none"> 溝を彫り、蓋をし、それに沿ってFSWする
長所	<ul style="list-style-type: none"> シームレスなSUS配管のため、腐食潰食による水漏れを防ぐことができる 	<ul style="list-style-type: none"> 構造的に容易 直接冷却 	<ul style="list-style-type: none"> 耐圧性能に優れている 直接冷却
短所	<ul style="list-style-type: none"> 間接冷却のため熱伝達が減少 配管が困難 	<ul style="list-style-type: none"> 継ぎ目が多い(配管継手、蓋の溶接) 銅面の腐食潰食 	<ul style="list-style-type: none"> 形状が大きい場合、使用できない 銅面の腐食潰食



Thermal spraying

- ◆ 冷却する面に配管し、その上から溶射し接触面積を増加させる方法。
- ◆ スイスのPSI(Paul Scherre Institut)研究所で使用実績有り。
- ◆ 今回はアルミワイヤー溶射を用いて試験を行った。



Test models

- ◆ 3種類の溝形状、ロウ付けあり・なし、取り付け金具あり・なしを評価。
- ◆ 入力電力(800W)、冷却水流量(5,10,15,20L/min)を変化させ、冷却水出入口温度と無酸素銅表面温度を測定。



- ◇ U溝加工
- ◇ ロウ付けあり
- ◇ 金具なし



- ◇ U溝加工
- ◇ ロウ付けなし
- ◇ 金具なし



- ◇ 14V溝加工
- ◇ ロウ付けなし
- ◇ 金具なし



- ◇ 14V溝加工
- ◇ ロウ付けなし
- ◇ 金具あり

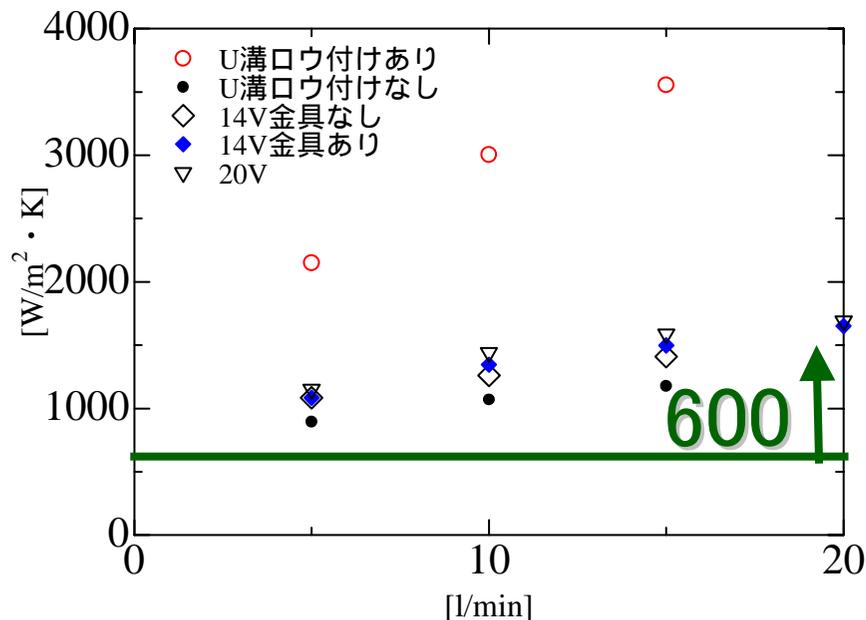


- ◇ 20V溝加工
- ◇ ロウ付けなし
- ◇ 金具なし



Test results

- ◆ すべての条件において、シミュレーションで用いた600[W/m²·K]を達成。
- ◆ **ロウ付けあり**だと管と銅の接触が良好になり、熱伝達係数は2~3倍増加する。
- ◆ 溝を広げることにより管と銅の間に溶射材が良く入り込み、熱伝達係数が増加する。
- ◆ **金具あり**では管と銅が良く接触しているが、管と銅の隙間が小さく溶射材が入り込んでいない。



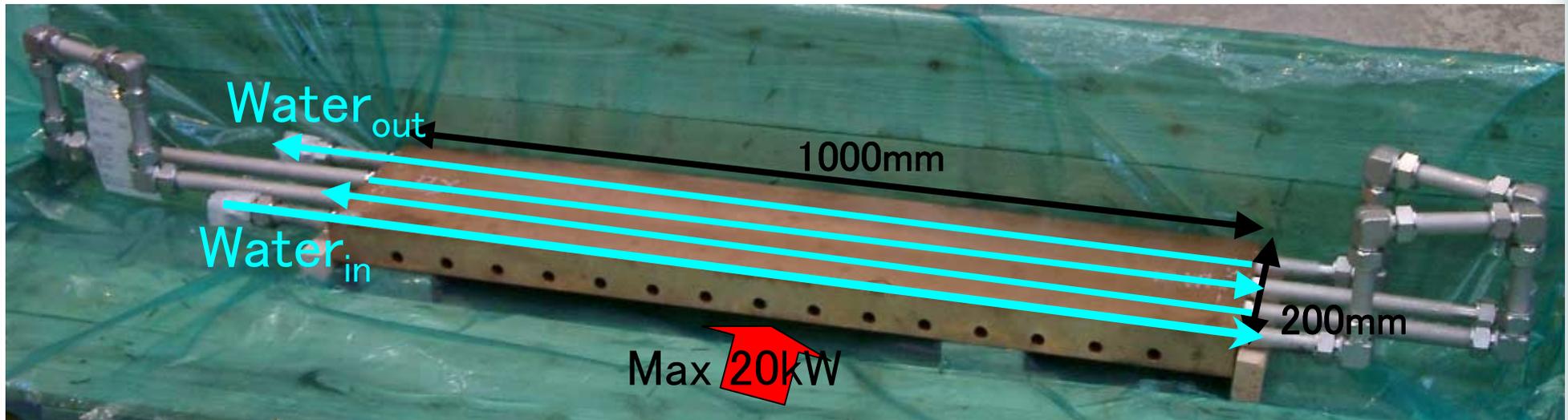
$$\alpha = \frac{Q}{A(T_{Cu} - T_{water})}$$

流量	流速	Re
[l/min]	[m/s]	
5	0.93	9920
10	1.85	19842
15	2.75	29762



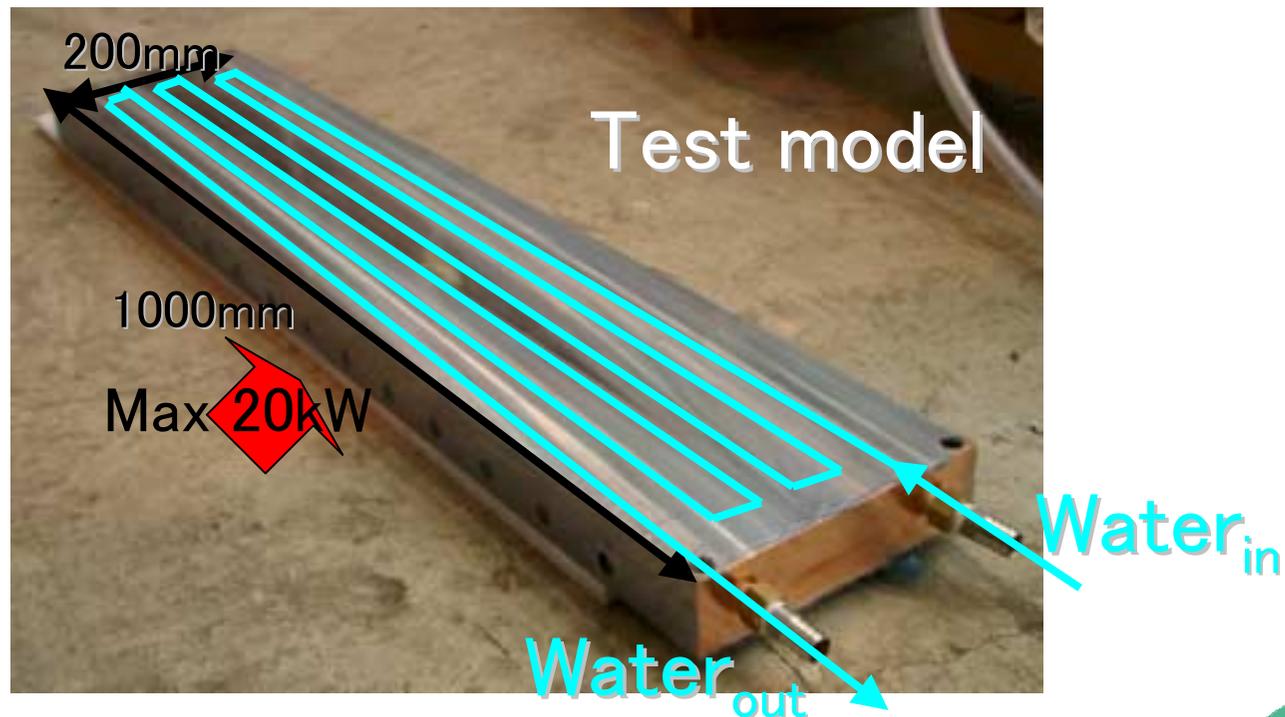
BTA(Boring and Trepaning Association) Process

- ◆ ドリルにより長穴を掘り、それらを繋げ水路とする方法。
- ◆ ダンプの水路与配管や長穴を繋げる穴の蓋の溶接継ぎ目がある。
- ◆ 水路は1～4つまで可変で、熱は最大20kW与えられることができる。

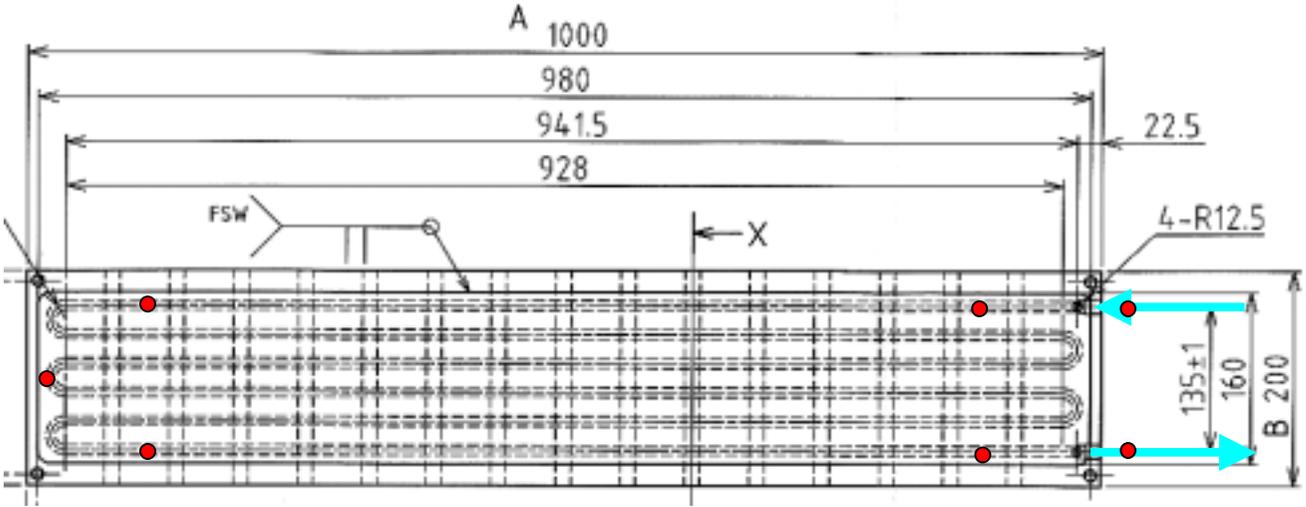


Friction stir welding (FSW)

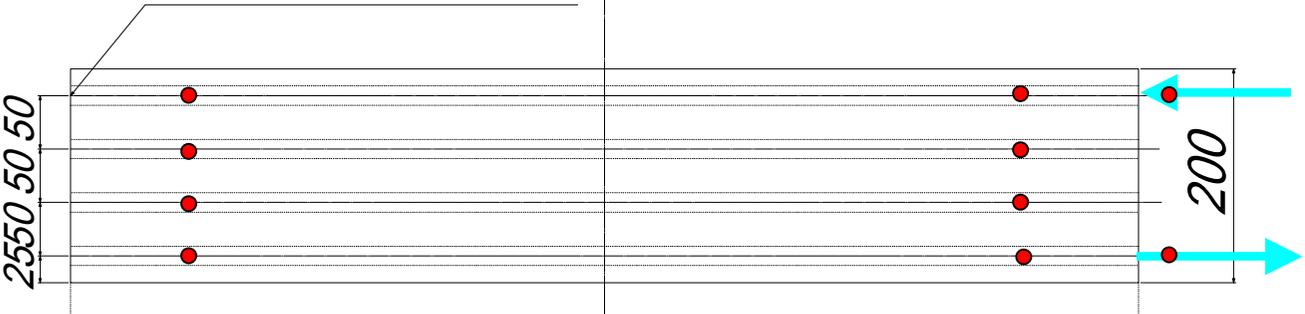
- ◆ FSWとは摩擦により母材内部を流動、攪拌して接合する技術。
- ◆ ひずみが小さく、残留応力も少ない接合のため耐圧性能が向上。
- ◆ 発熱面に溝を彫り、ふたをし、それに沿ってFSWする。
- ◆ 下図で6つのパスの冷却水路を持つ。



Cooling test of BTA and FSW



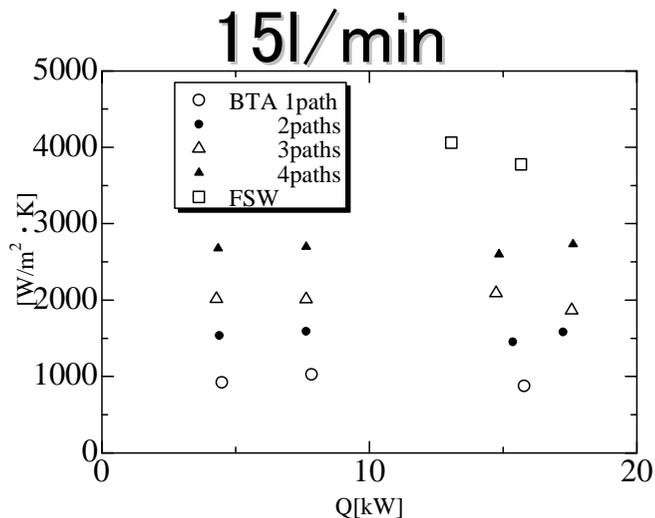
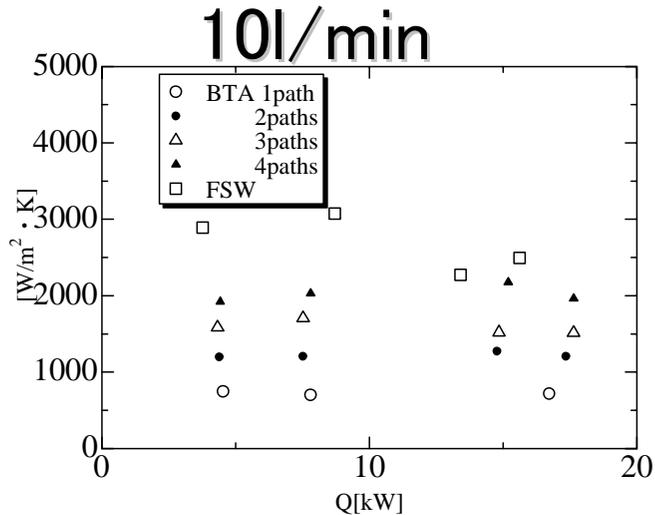
4- 18貫通



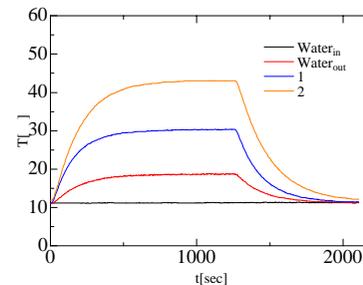
- ◆ この面積では5kWの加熱することにより実機相当の冷却の負担を持つ。
- ◆ 銅表面温度と冷却水出入り口温度は熱電対で、銅表面温度分布は放射温度計で測定した。
- ◆ あらかじめ放射率がわかっているテープを表面に添付し、放射温度計で測定した。
- ◆ 熱電対は冷却水路近傍に設置。



Result of cooling test



- ◆ FSW、BTAの二つの冷却装置の熱伝達係数を示している。
- ◆ この熱伝達係数は温度勾配をフィッティングすることにより得られたものである。
- ◆ FSWは6パスのため最も高い値を示した。



$$Q_{in} - Q_{out} = k \frac{dT}{dt}$$

$$k = C\rho V$$

Q_{in} : 入力熱量[W]、 Q_{out} : 出力熱量[W]

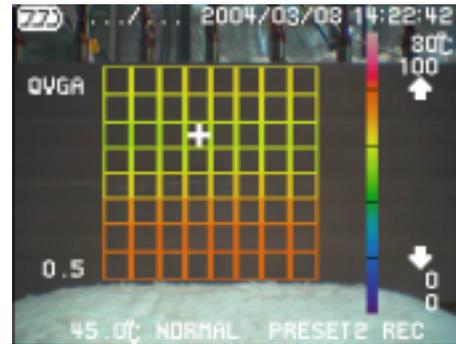
C: 比熱、 ρ : 密度、V: 体積

$Q_{in} = 0$ 、 $Q_{out} = A\alpha_{fit}(T_C - T_W)$ とし、微分方程式を解くと

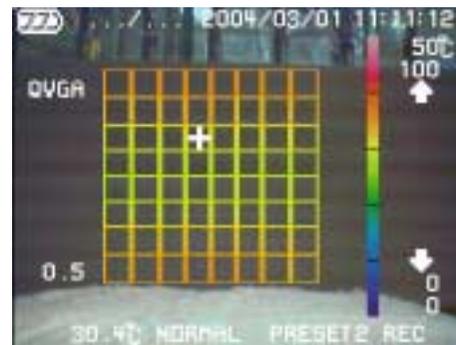
$$T_C = \Delta T \exp\left(-\frac{A\alpha_{fit}}{k}t\right) + \frac{T_W}{A\alpha_{fit}/k}$$



Temperature distribution on copper surface



BTA 1path
15l/min 7.8kW



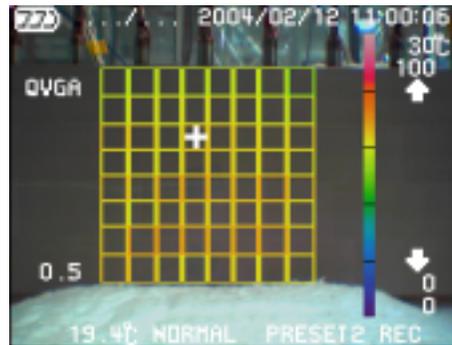
BTA 2paths
15l/min 7.6kW



BTA 3paths
15l/min 7.6kW



Temperature distribution on copper surface



BTA 4paths
15l/min 7.6kW

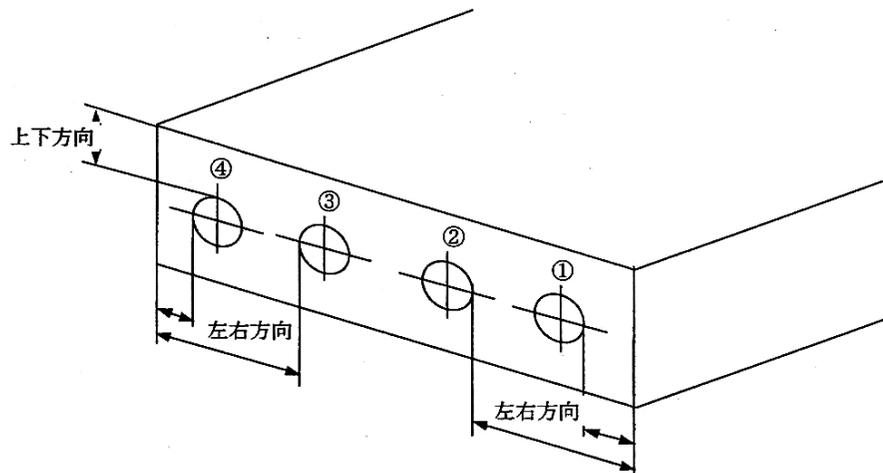


FSW 6paths
15l/min 8.7kW



Accuracy of hole position

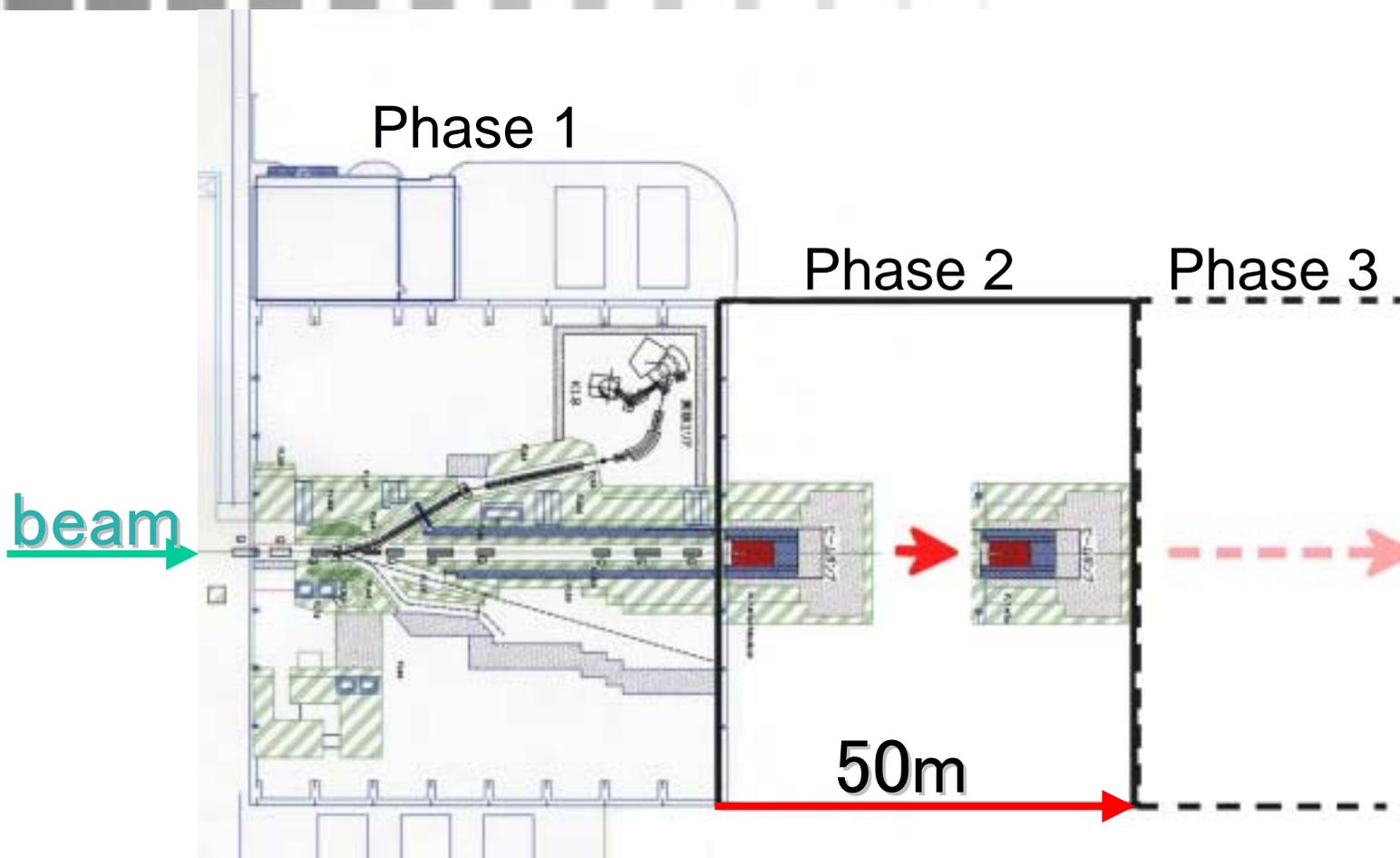
- ◆ BTA加工による、深孔加工の精度を測定。4本の孔があるのですべてについて測定した。
- ◆ 左の表は偏差について示している。
- ◆ 上下方向が左右に比べ曲がっているのは上方向の銅が薄かったため偏ったと思われる。



[mm]		
上下	左右	孔径
0.85	0.55	0.0
0.75	0.15	0.0
1.05	-0.20	-0.1
0.80	-0.20	-0.1



Traveling to 50m downstream



- ◆ 2期に分かれているため、ビームダンプを移設しなければいけない。
- ◆ 1000ton(含コア部+遮蔽体+冷却装置など)、1日(8時間)で移動可能を設計目標とする。



Moving scheme and Radiation

I 期実験終了

ビーム停止

約半年もしくは1年間放射線量を低減

拡張工事、放射線遮蔽の取り外し

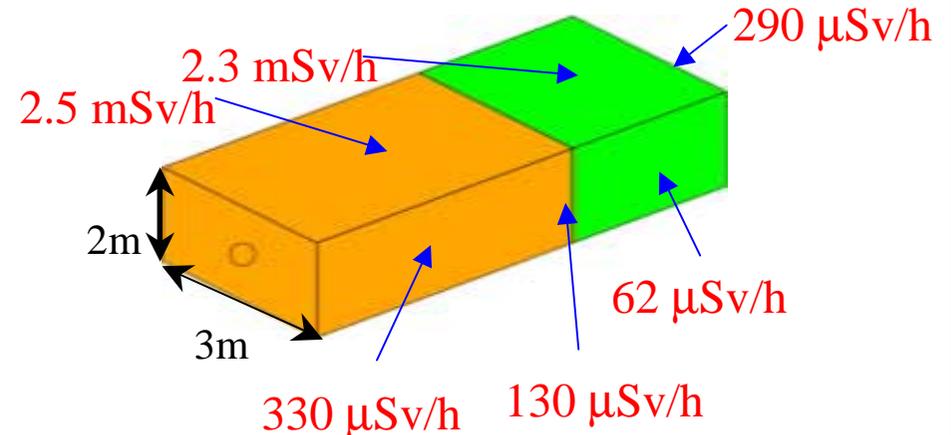
冷却、真空装置の養生

50m下流へ移設

ダンプの再設置

実験再開

- ◆ 下図は1年運転、半年冷却した場合の銅と鉄の残留放射能である。
- ◆ 実際にはこの周りに500mmの鉄で覆われているため、残留放射能はこれ以下に低減できる。



How to move

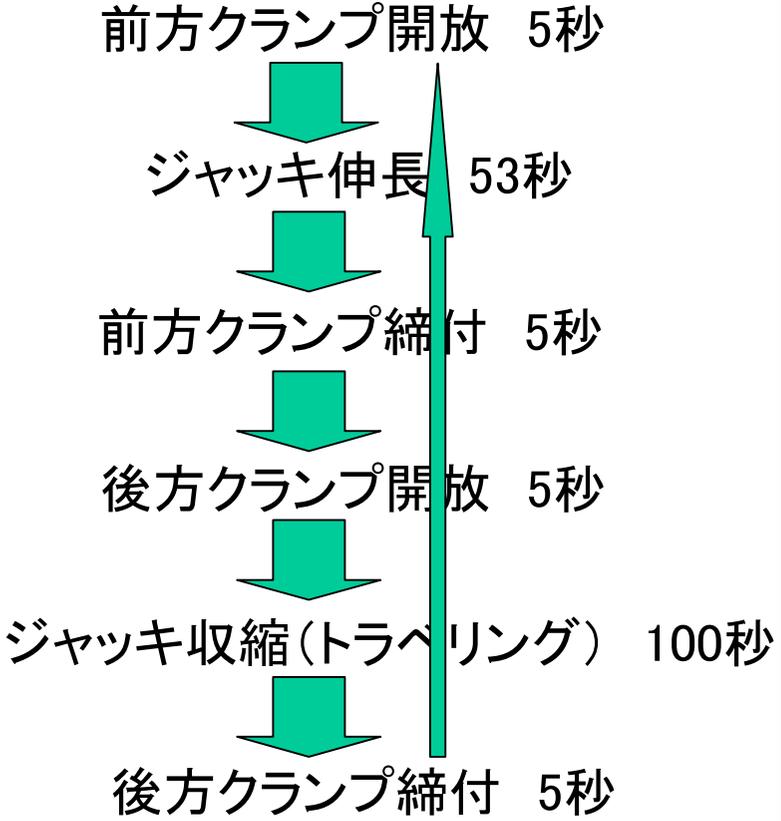
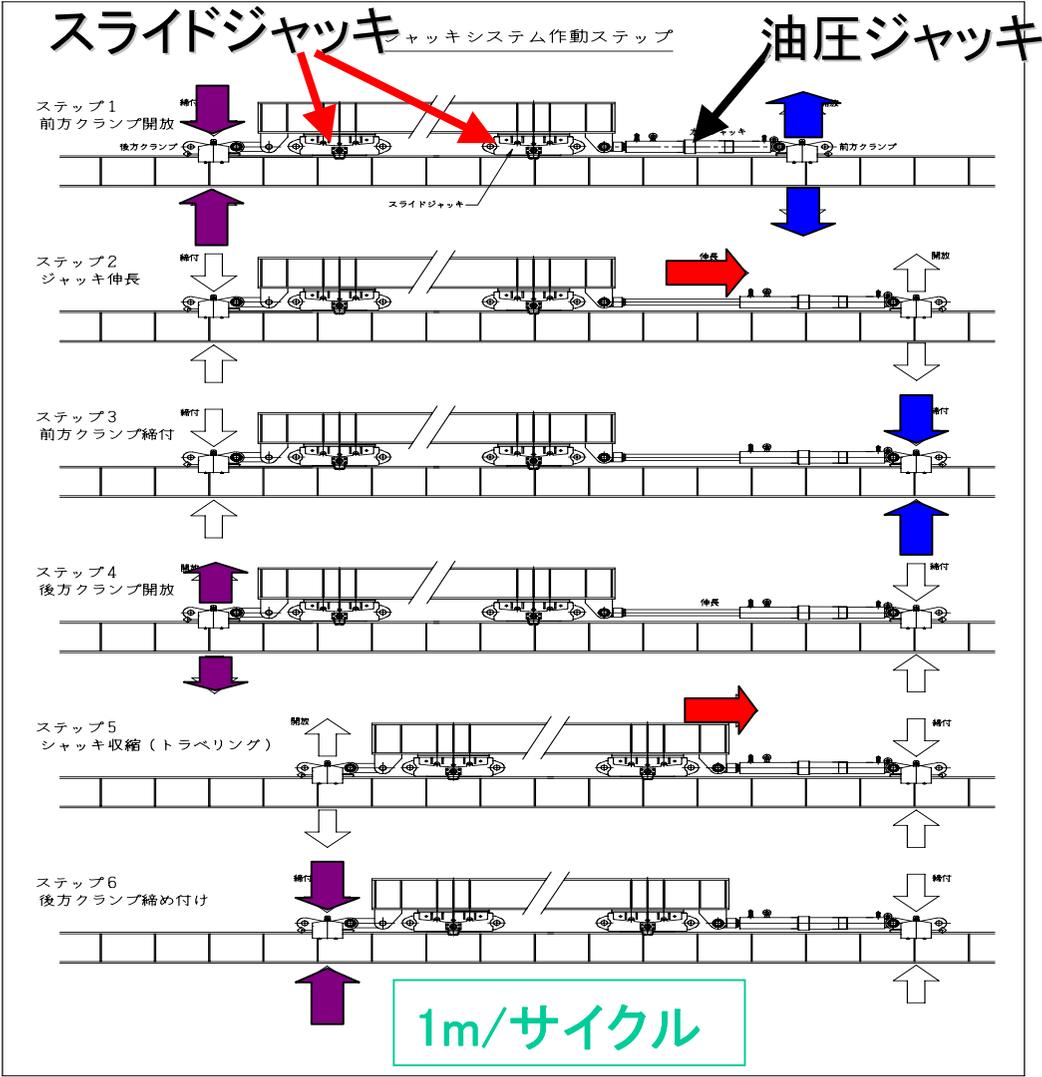
駆動方式	機能	長所	短所
油圧ジャッキ 	<ul style="list-style-type: none"> ◆油圧により移動 ◆クランプと併用した尺取方式 	<ul style="list-style-type: none"> ◆橋梁の移設によく使われている ◆移動量の微調整が可能 	<ul style="list-style-type: none"> ◆設置時にダンプ近傍で作業
ウィンチ 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ワイヤロープにより牽引する方法 	<ul style="list-style-type: none"> ◆遠隔から操作できる 	<ul style="list-style-type: none"> ◆設置精度 ◆大重量だと特注品 ◆ブレーキとなる反力が必要

走行方式

スライドジャッキ 	<ul style="list-style-type: none"> ◆すべり(水平方向)とジャッキ(鉛直方向)の2つの機能を持つ 	<ul style="list-style-type: none"> ◆省スペース ◆ジャッキ必要なし 	<ul style="list-style-type: none"> ◆油圧漏れ
チルトタンク 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ローラをエンドレスに連結した装置 	<ul style="list-style-type: none"> ◆市販品で安価 	<ul style="list-style-type: none"> ◆直進性 ◆荷重を支えるジャッキが必要 ◆要スペース



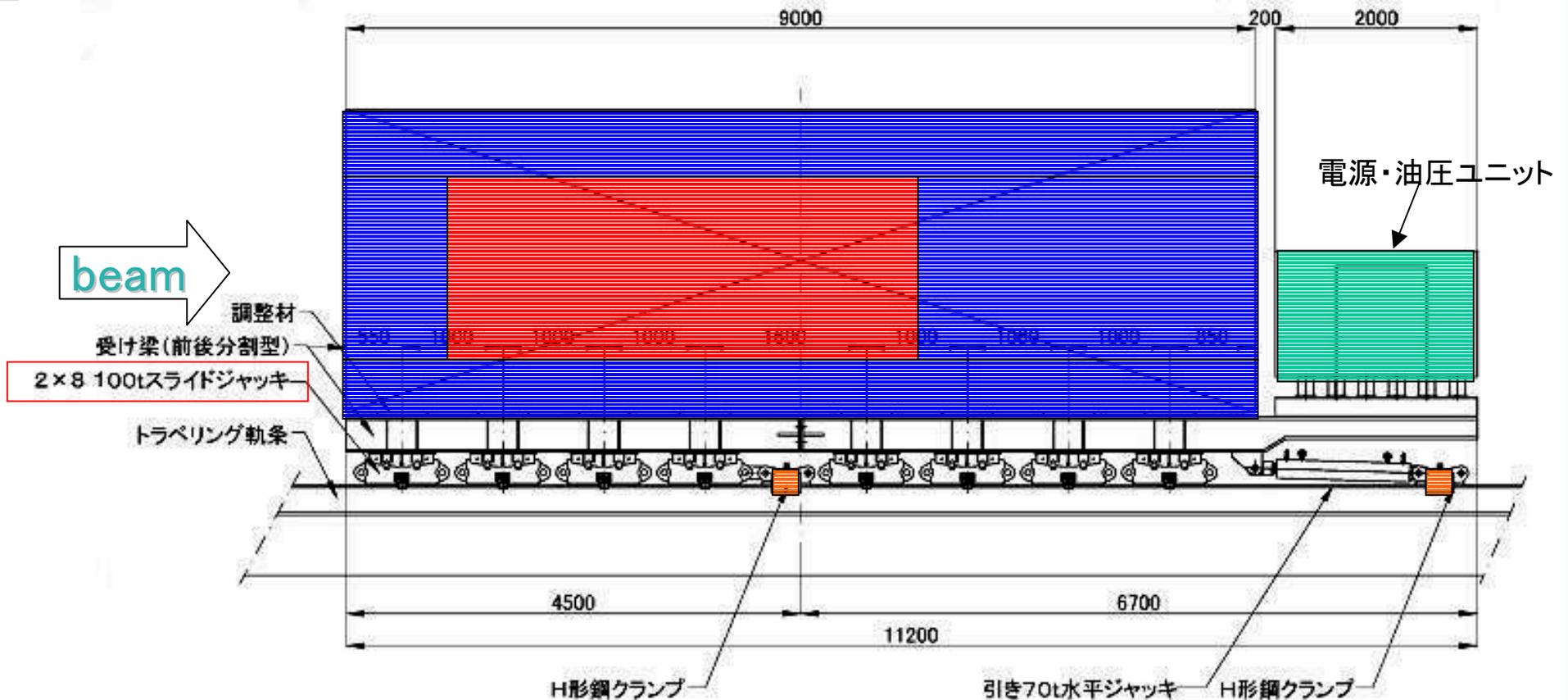
Traveling method



合計173秒=約3分x50m
=150分で移設完了



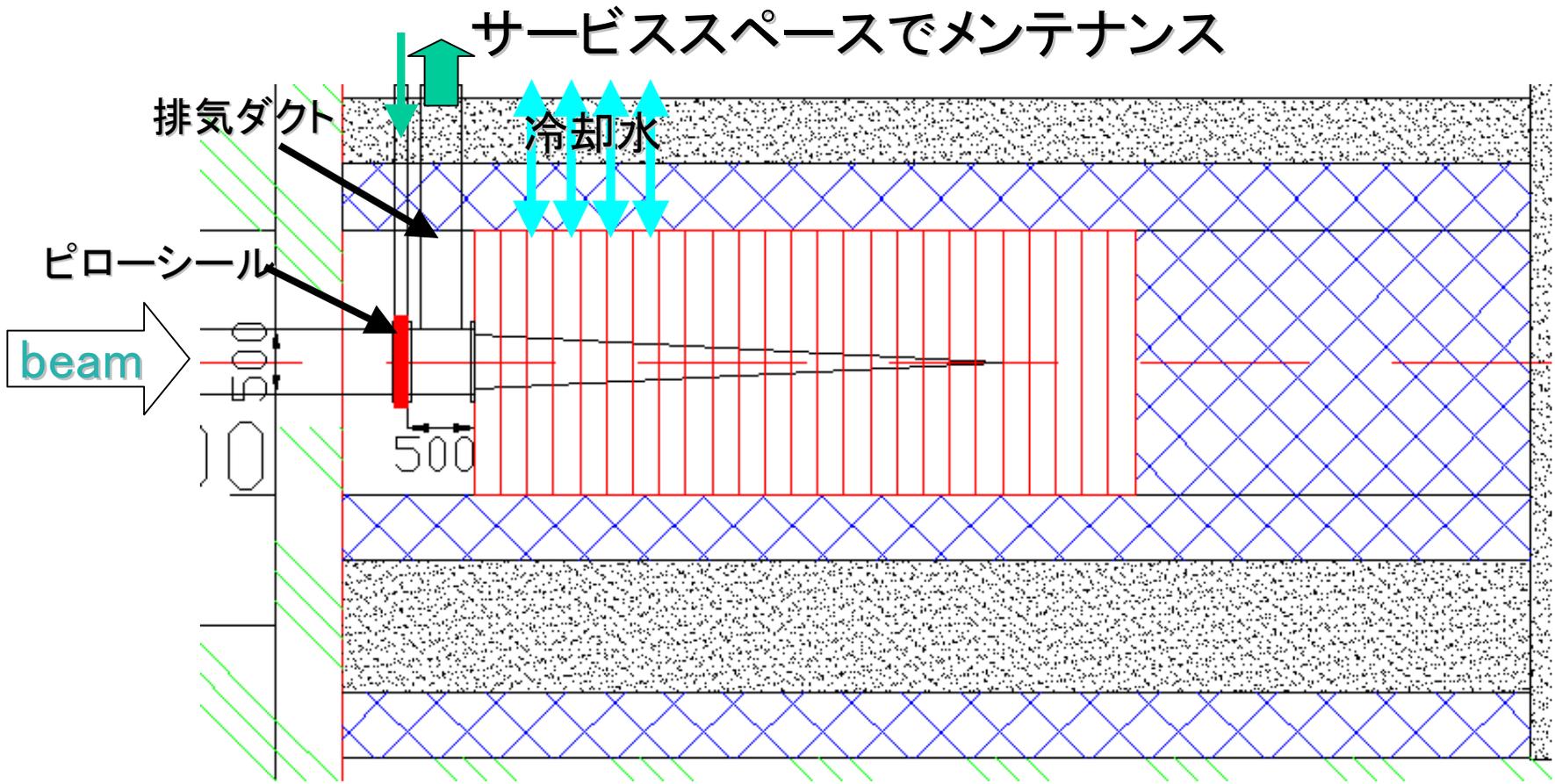
Structure of traveling devices



LANケーブルのみ操作室とつなぎ、遠隔操作し作業者の被曝を低減させる。



Maintenance



- ◆ 前部にはビームダクト、シール(ピローシールを予定)、排気ダクトがある。
- ◆ 移動時にはビームダンプ前部を遮蔽しなければいけない。



Conclusion and Prospects

NP-Hallビームダンプについて、次のような設計・開発を行った。

- ❖ シミュレーションからコアと遮蔽体構造が設計され、コア部は無酸素銅、鉄、コンクリートに最適化された。
- ❖ エネルギー寄与による発熱の冷却は3つの方法が提案され、試験を行った。
- ❖ すべてのモデルでシミュレーションで用いた $600[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ を達成。実機にはBTA加工を用いた冷却装置が適していると思われる。
- ❖ ダンプの移設装置は油圧ジャッキ＋スライドジャッキが有効である。
- ❖ メンテナンスはダンプ上部のサービススペースから行う。

