

QUEST装置における無電極強制対流 液体金属ダイバータ実験の提案

嶋田道也（量研機構）

第13回QUEST研究会
日時：平成29年2月9-10日
場所：九州大学応用力学研究所

目次

- 概要
- 液体金属流を電極無しで駆動する
- トロイダル方向の一様性？
- 熱除去に必要な流量
- ジャクジ型、噴水型、滝型
- QUEST改造案

概要

- 核融合炉設計における最大の課題：
ダイバータにおける定常熱負荷除去および非定常熱負荷耐性
- 核融合原型炉開発のための技術基盤構築の中間的役割を担うチーム報告
 - 「ダイバータは原型炉で想定される運転条件と現在の科学的理解及び技術成熟度とのかい離が極めて大きい」
- 主プラズマからSOLに200-300 MW流入；ダイバータの有効面積 $\sim 2 \text{ m}^2$
- 放射冷却と固体の熱伝導には限界($\sim 10 \text{ MW/m}^2$)
⇒液体金属の対流：**Actively Convected Liquid Metal Divertor**[1]
 - 液体金属中に電極を敷設
 - $J \times B$ ローレンツ力を用いて液体金属を強制対流
 - 液体金属対流による粒子リサイクリング低減を観測[2]
- 今回の提案:供給と排出があると電磁流体が自然に流れる
 - 電極は不要→構造が簡単、低コスト、保守容易
- ディスラプションやELMの後、液体金属表面は平坦化し熱除去性能は回復
- QUEST装置への導入を検討中

[1] Shimada and Hirooka, Nucl. Fusion 54 (2014) 122002

[2] 廣岡他：第33回プラズマ・核融合学会年会 02aC06

The impurity concentration f_z required to radiate power P scales as P^2

$$q_{//} \sim -T^{5/2} \frac{dT}{dx} \qquad \frac{dq_{//}}{dx} \sim -f_z n^2 L_z(T)$$

($q_{//}$: power density parallel to B)



$$q_{//up}^2 - q_{//target}^2 \sim f_z (nT)^2 \int_{T_{target}}^{T_{up}} T^{1/2} L_z(T) dT$$

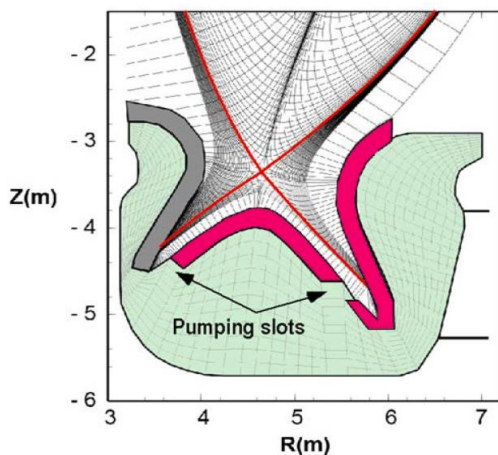
$$\sim P^2 \qquad \sim 0$$

Shimada, NF (1982)

More compact and more simple

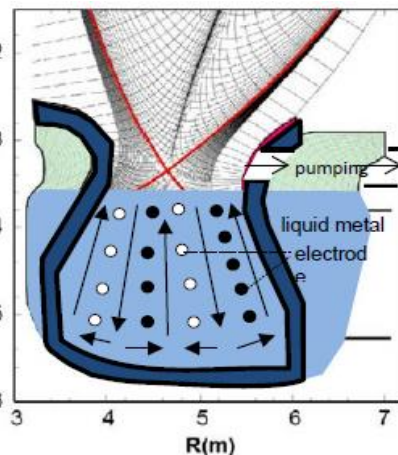
Electrode-free ACLMD Jacuzzi-type

Conventional
divertor

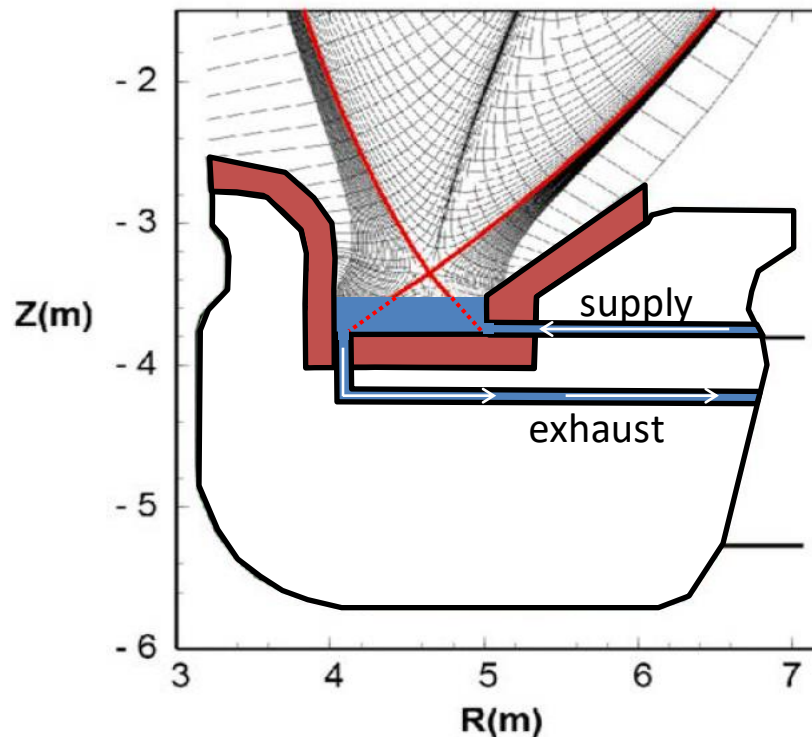


Slim-CS
Tobita, NF 2009

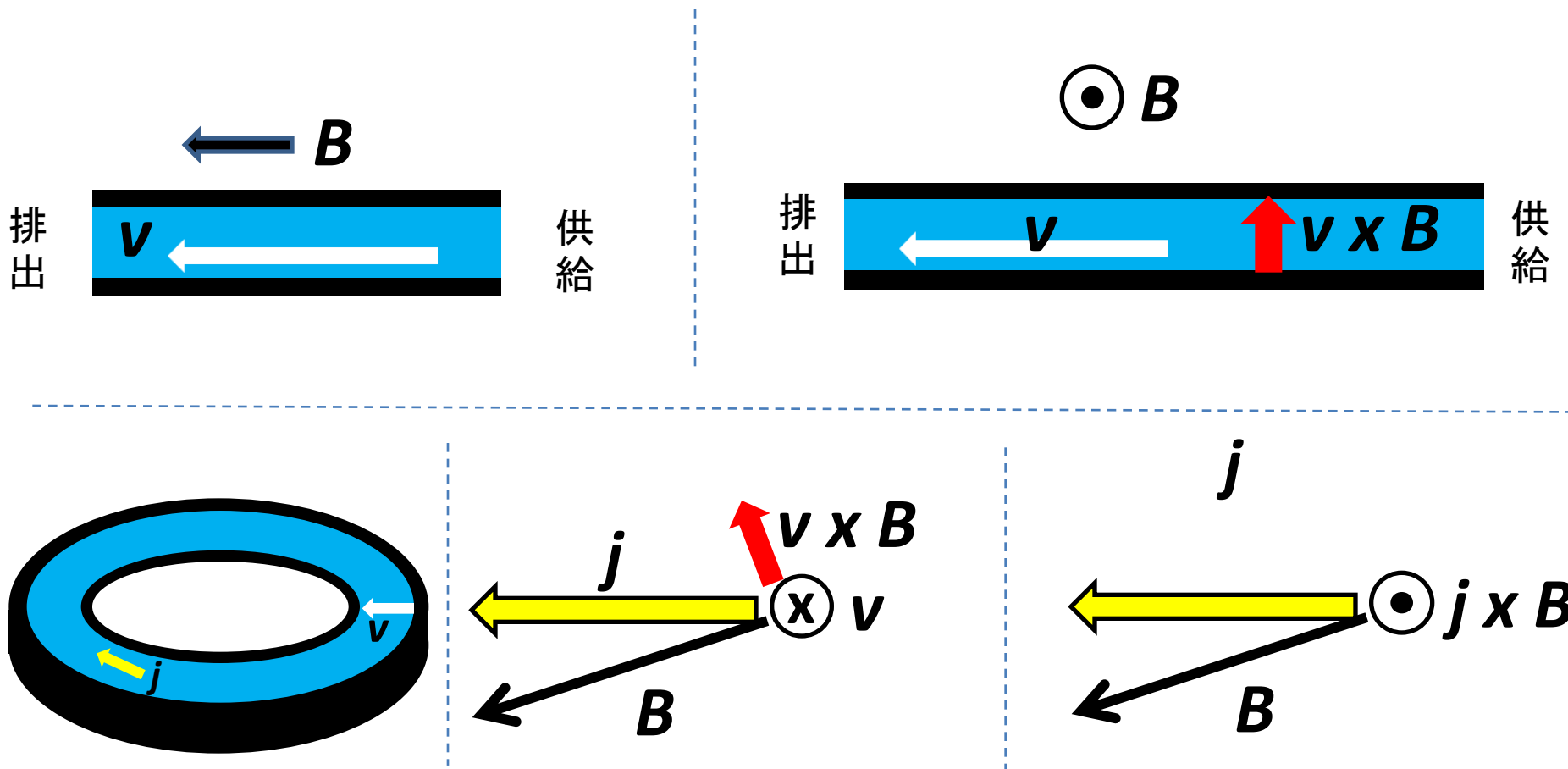
Original
ACLMD



Shimada and Hirooka,
NF 2014

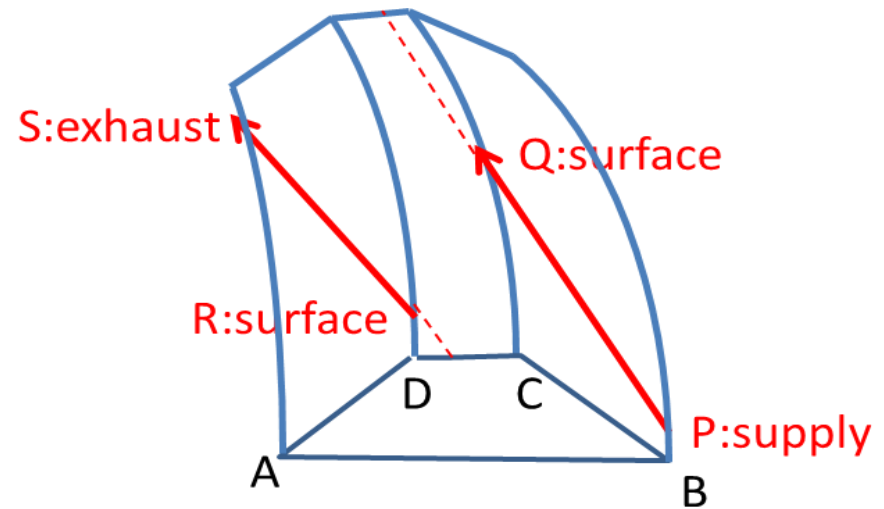
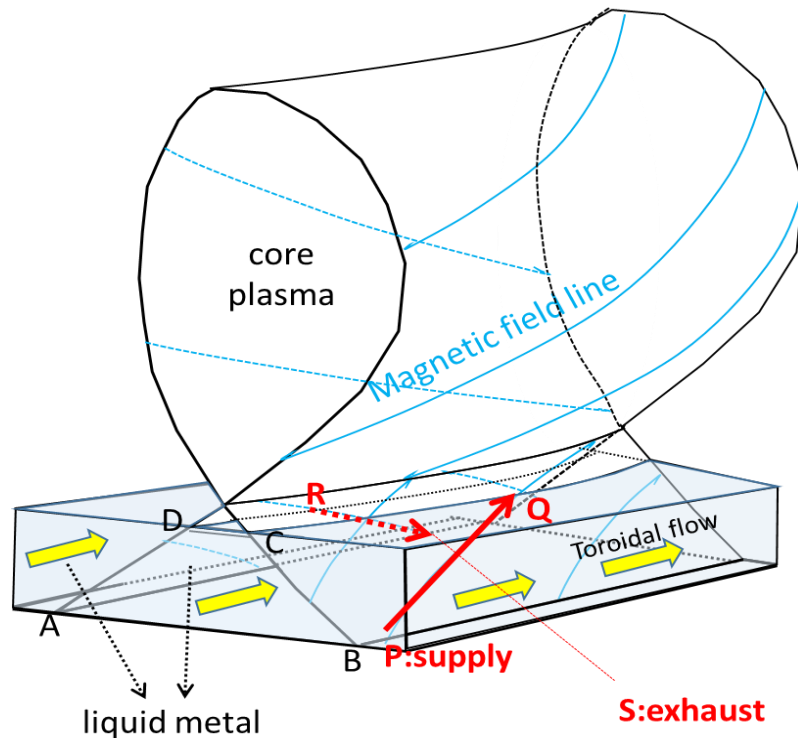


More compact and more simple divertor could reduce cost, facilitate maintenance and improve reliability



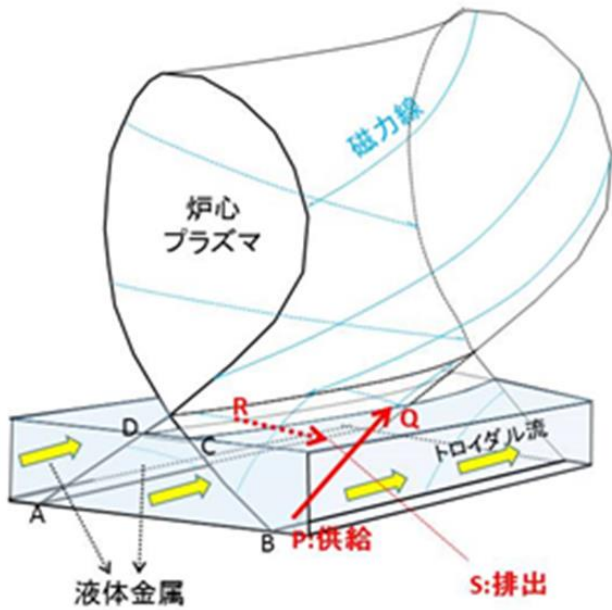
液体金属は磁力線方向に動きやすい性質を持っている。というのは、液体金属が磁場を横切って運動すると $v \times B$ 起電力が生じ、磁場を横切る電流 j が流れると、 $j \times B$ のローレンツ力は、運動 v を妨げる方向に働くからである (mhd drag)。容器の内壁を絶縁体で覆うと mhd drag は顕著に低減できるが、液体金属がトーラス状の場合には、磁場に垂直な流速があるとトロイダル方向に流れる電流の磁場に垂直な成分により、mhd drag が生じるため液体金属は磁力線に沿って動きやすい。

自発回転によるトロイダル方向の一様化



供給口Pから液体金属を供給すると、供給された液体金属は磁力線に沿って流れ、液体金属表面Qに達し、ダイバータ・プラズマとの接触によって熱せられ、燃料や不純物の粒子を吸収する(図2のABCD、P,Q,R,Sは、図1のABCD、P,Q,R,Sに対応)。外側ダイバータの熱負荷が200MWの場合温度上昇は最高700°程度である。一方で排出口Sから液体金属を排出すれば、Sを通る磁力線に沿った延長上でダイバータ・プラズマと接する点Rまでの液体金属を排出口へ導き、外に排出できる(図1,2)。QとRとは直接磁力線上で繋がっていないが、磁場を横切る流れや自発的に生じるトロイダル方向の流れ、熱伝導・粒子拡散などの機構で熱・粒子がQR間で輸送される。ダイバータでは磁力線の傾きが小さいのでmhd dragは小さくできる。液体金属は、ほぼ磁力線に沿って流れるので、粘性によって、トロイダル方向に自発的な流れが生じる(図1黄色の矢印)。トロイダル方向の流れによって液体金属の温度や燃料粒子濃度が一様化されれば、供給口や排出口が有限個しか設置できなくても熱・粒子除去が首尾よく行われることが期待できる。

磁力線を横切る流れへのmhd drag (トーラス)



液体金属の表面で磁場を横切る流れ(図2の v_{surface})を作る際、MHD効果による起電力(図2の E_{\perp})が液体金属の流れと磁場の両方に垂直に発生する。 $E_{\perp} = v_{\text{surface}} \times B$
 一方トーラスは軸対称であり、電流 j は $\text{div}(j)=0$ を満たすから、トーラス方向にしか電流は流れない(図3の j_{toroidal})。 $j_{\text{toroidal}} = \sigma E_{\text{toroidal}}$, ここで σ は液体金属の電気伝導度。 j_{toroidal} は磁場に平行な成分 j_{\parallel} と垂直な成分 j_{perp} に分解できる(図4)が、とくに液面付近(図3)では磁場と水平面との間の角 θ は小さい($\theta \sim 0.02$)。

$j_{\perp} = \theta j_{\text{toroidal}}$ また図5から、 $E_{\text{toroidal}} = \theta E_{\perp}$
 したがってmhd drag F の大きさは、 $F = j_{\perp} \times B \delta = \theta j_{\text{toroidal}} B \delta = \theta \sigma E_{\text{toroidal}} B \delta = \theta^2 \sigma E_{\perp} B \delta = \theta^2 \sigma v_{\perp} B^2 \delta = 0.02^2 \cdot 2 \times 10^6 \cdot 0.3 \cdot 5^2 \cdot 0.05 \sim 3 \times 10^2 \text{ Pa} = 0.003 \text{ atm}$ と小さい。ただし δ は、熱流束の幅。**この圧損は0.5cmの液面差に相当**

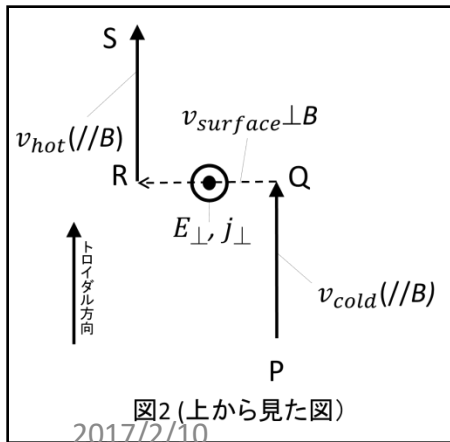


図2(上から見た図)

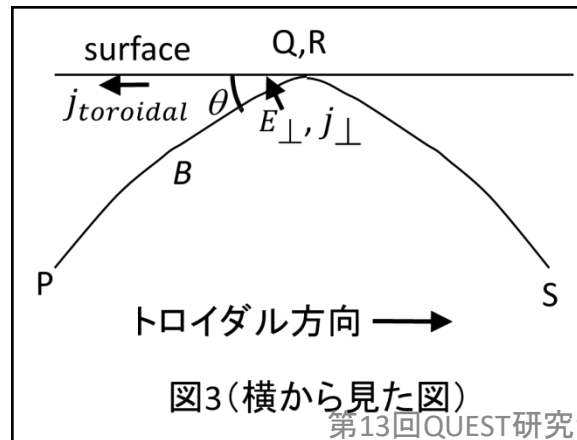


図3(横から見た図)

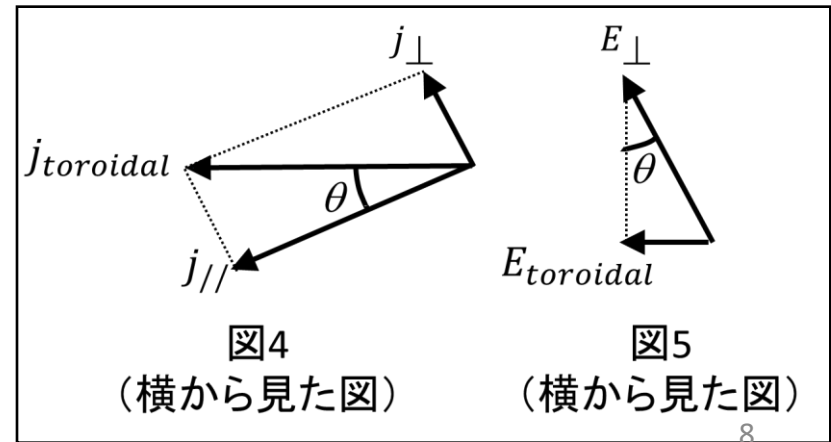
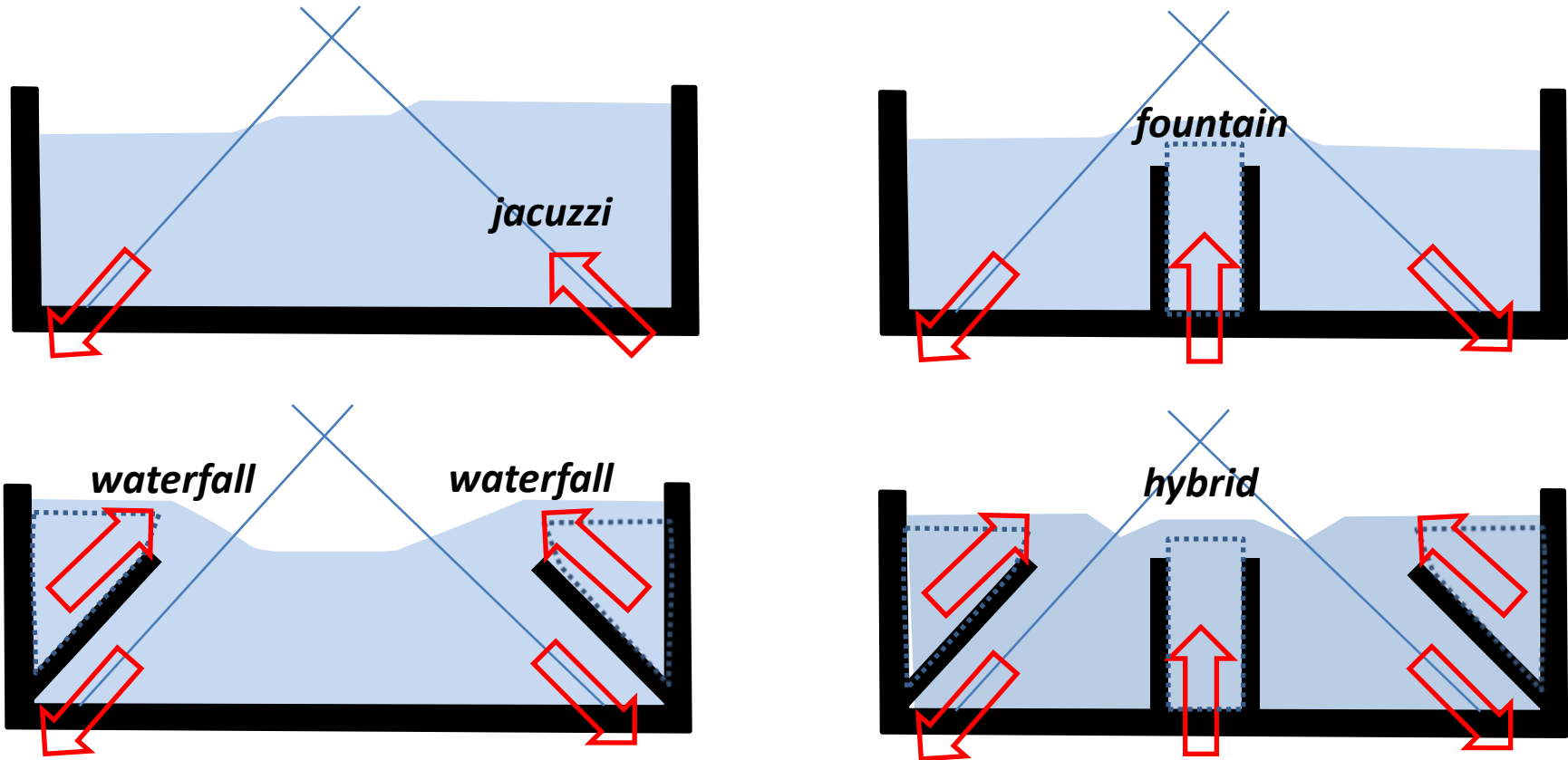


図4
(横から見た図)

図5
(横から見た図)

Various types of electrode-free ACLMD

All the inner walls facing LM are insulated to reduce the mhd drag



A few insulator plates (dotted line) could be installed to reduce the mhd drag originating from the toroidal current

期待される結果（熱除去）

加熱パワー P (W)、スズの比重 ρ (kg/m³), スズの比熱 C (J/kg/deg)、スズの流量 f (m³/s), 供給スズの温度 T_{in} (degree C)、排出スズの温度 T_{out} (degree C)とすると、

$$P = \rho C f (T_{out} - T_{in})$$

これから、必要なスズの流量 f は、

$$f = \frac{P}{\rho C (T_{out} - T_{in})}$$

ここで P (DEMO) = **300 MW**, $\rho = 7 \times 10^3$ kg/m³, $C = 228.4$ J/kg/deg, $T_{out} = 400$ ° C, $T_{in} = 300$ ° C とすると、

$$f \text{ (DEMO)} = 1.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P \text{ (QUEST)} = \text{300 kW} \Rightarrow f \text{ (QUEST)} = 1.8 \text{ litre/s}$$

期待される結果（非定常熱負荷）

ディスラプションやELMなどの非定常熱負荷によってタングステンは溶融し、再固化後に表面に凹凸が生じるので、熱処理能力が顕著に劣化することが懸念されている。

液体金属は、ディスラプション時には渦電流と磁場による $j \times B$ ローレンツ力によって飛散し、ディスラプション緩和の効果が期待される。また、第一壁に付着した後も液体であるので、ダイバータに流れ落ちる。非定常熱負荷の後には、表面は速やかに平坦になり、熱除去性能を回復することが期待される。

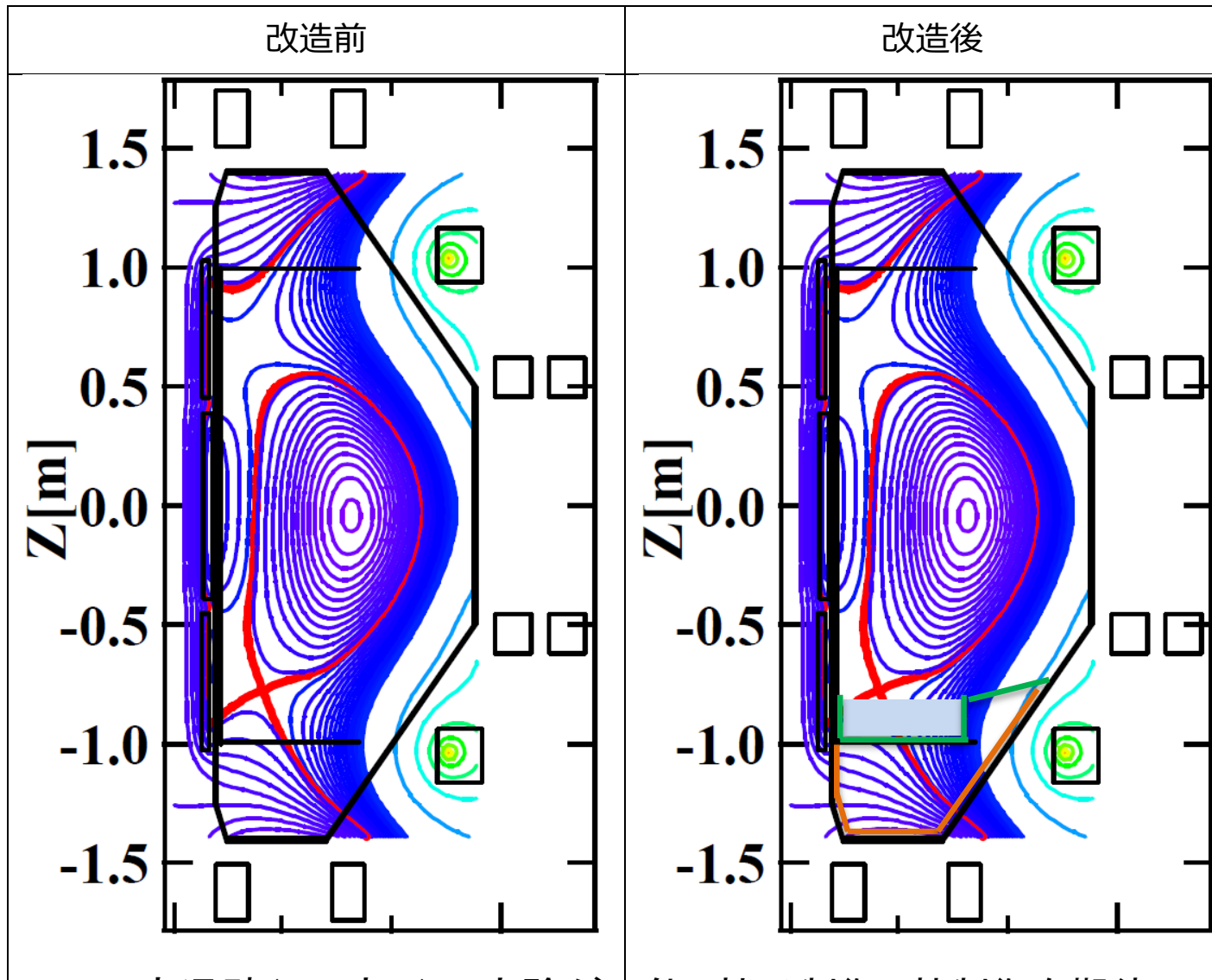
液体金属として何を使うか

GaInSn, Ga, Li, Sn, Pbなどの低融点金属のうち、

- GaInSn, Gaは超高価なので除外。
- Liは高い反応性と腐食性のため除外。
- Pbは毒性のため除外。
- Snは毒性が低く、しかも安価（5kgで18千円程度）。

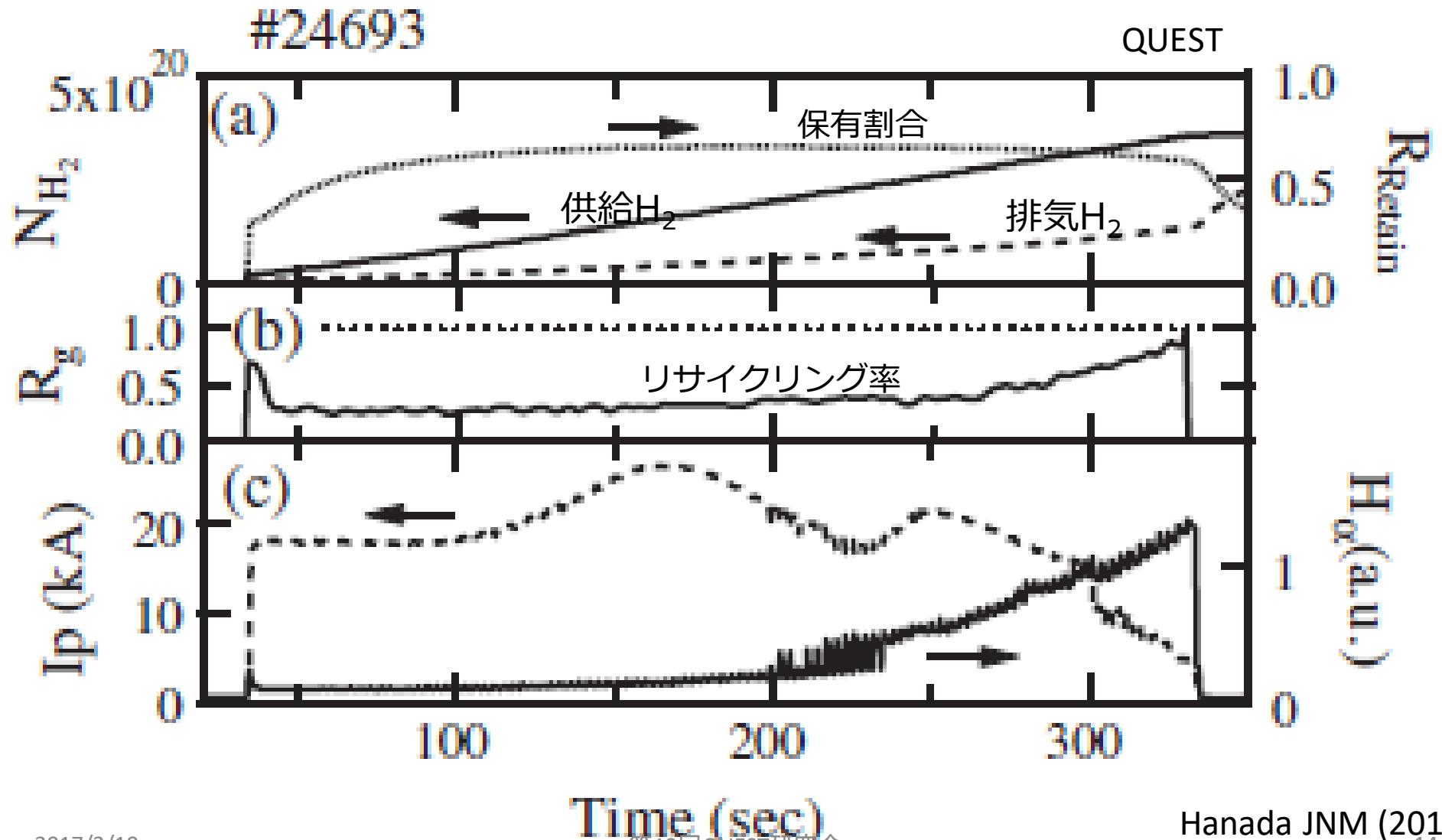
そのためSnを推奨

QUEST改造案



高温壁(500度C)の実験が可能。粒子制御、熱制御を期待。

QUESTの長パルス運転では、壁の飽和とともに粒子リサイクリングが増大して放電特性が変化 ⇒ 粒子制御による改善



概念設計報告書（準備中）

目次案

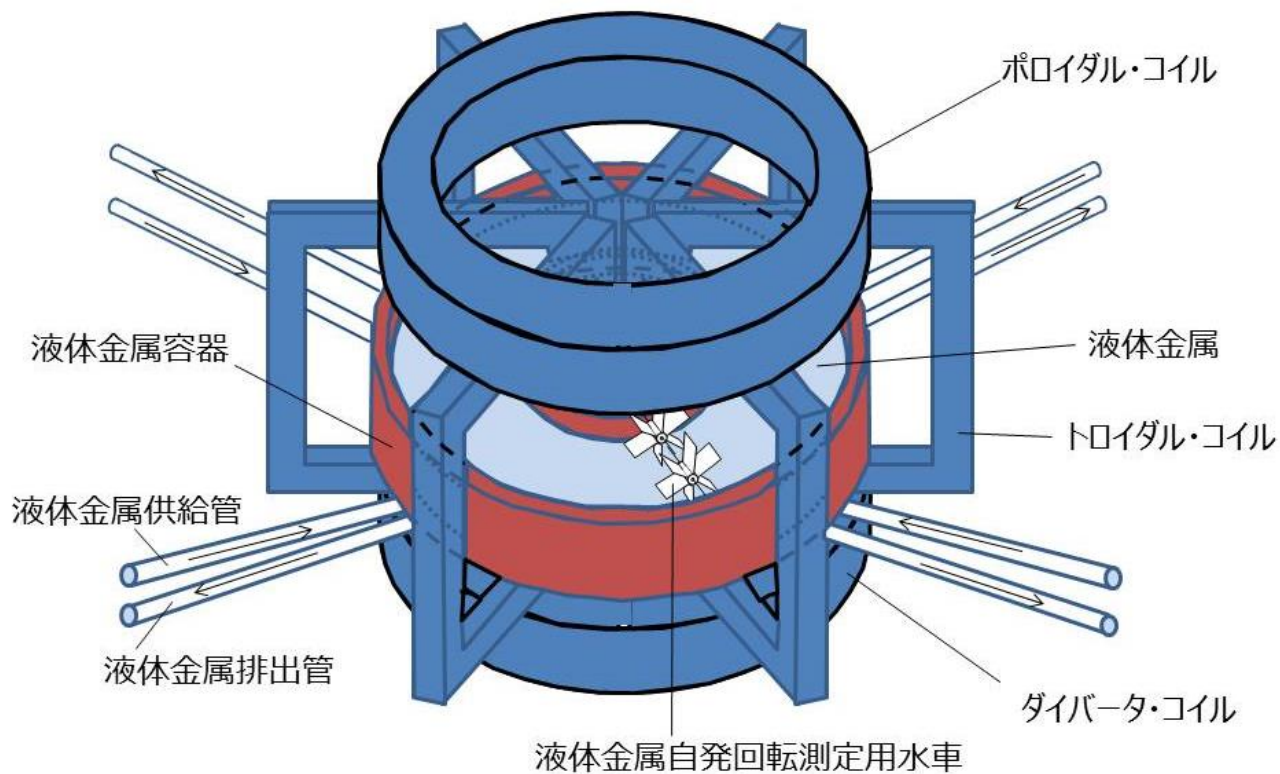
1. 序
 2. 背景
 3. 強制対流液体金属ダイバータ
 4. QUEST装置
 5. 改造の概要
 6. 装置性能
 7. 液体金属材料
 8. 液体金属ループ
 9. 実験の概要
 10. 安全性
 11. 結論
- 謝辞
- A1. 原理検証実験（核融合科学研究所）
 - A2. 構造材料および絶縁材料の液体スズ中における健全性（東工大）

要約

- 強制冷却液体金属ダイバータACLMDには、核融合炉のダイバータとして有望な特性(熱除去能力、粒子除去、非定常熱負荷後の回復)が期待できる。
- 電極なしのACLMDの実現性がトカマク実機で実証されれば、核融合炉の設計の簡素化、保守の簡素化、運転の信頼性向上、稼働率向上、低コスト化が期待される。
- QUEST装置は高温壁など液体金属ダイバータの試験に魅力的な性能を有している。電極なしのACLMD設置を2019年に予定している「ダイバータ冷却実験」に向けて検討中。

予備

無電極 強制対流 液体金属ダイバータの 原理検証実験



期待される成果（粒子制御）

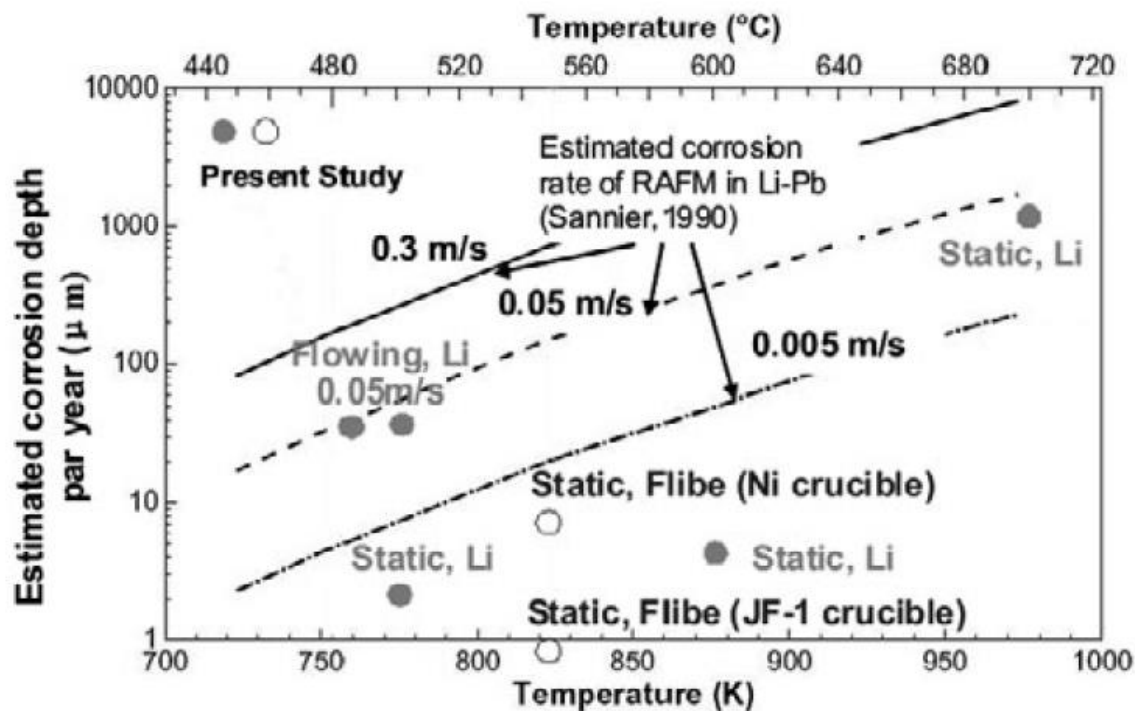
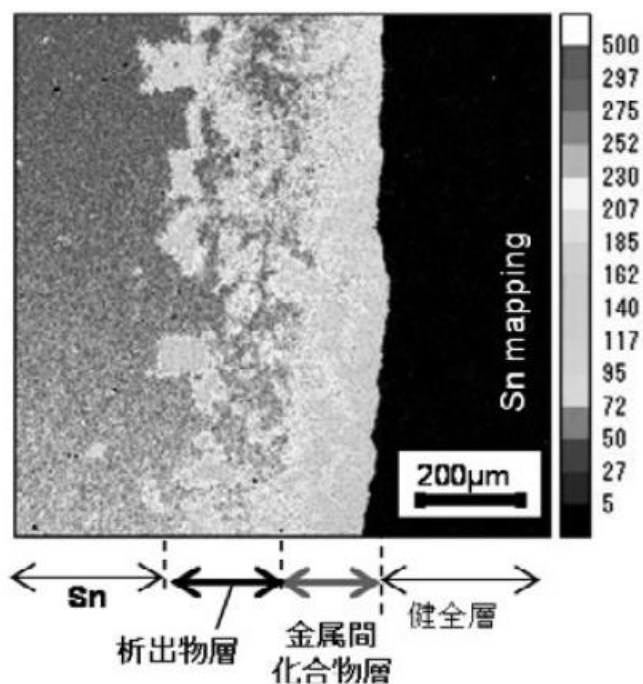
Snは、重水素を0.068 at.%まで吸着する*。これを上記の流量のスズに適用すると、スズとともに排出される重水素の流量の上限は、 $4.3 \times 10^{25}/s$ ($8.1 \times 10^4 \text{ Pam}^3/s$)と見積もられる。これは原型炉で想定している粒子供給量 ($100\text{-}200 \text{ Pam}^3/s$)に比べて格段に大きい。

したがって本方式ではタングステンを材料とするダイバータに比べて熱および粒子の処理能力が格段に改善することが期待される。

*J. P. S. Loureiro, F. L. Tabarés, H. Fernandes, et al., "Behaviour of liquid Li-Sn alloy as plasma facing material on ISTTOK", in the proceedings to ISLA-4 Conference, Granada, Sept. 2015 (to appear in Fus. Eng. Des.).

スズの腐食性

600°CのスズにRAFMを250時間浸漬した場合100 μ m程度の金属間化合物層を形成。しかしLiなどでは低温において腐食速度が顕著に低減



近藤(2016)プラズマ核融合学会誌小特集「液体だけど水じゃない」

スズの安全性

1. Snは金属や酸化物、塩類といった無機化合物の形では毒性が低いため食器や缶詰などに使われている。スズを含む有機化合物の中には非常に強い生物毒性を有するものがある。しかしながら有毒な有機スズ化合物は人工的に複雑なプロセスを経て合成されるもので、自然に大量に合成されるものではない。仮に合成されたとしても、プラズマ環境中では、電子衝撃によって容易に分解される。一般に有機金属化合物による中毒は、経口摂取による体内への蓄積。本件の場合、経口摂取は除外できる。
2. 鉱山などで長期間酸化スズの粉塵に曝される環境では肺が侵されることがある。本件の場合は真空容器内部の作業は短期間である。粉塵の量は予測困難であるので、用心のため防護スーツとフィルターのついたマスクを着用することを推奨。防塵マスクは、粒子捕集効率95%以上のものが入手可能。

QUESTにおけるACLMD実験の 予備検討

嶋田道也（量研機構）

第12回QUEST研究会
日時：平成28年9月20日（火）-21日（水）
場所：応用力学研究所

目次

- 動機、目的
- どうしてQUESTか
- 液体金属として何を使うか
- スズの安全性
- 改造案
- 実験の概要
- 期待される成果

動機

- 核融合炉設計においては、ダイバータにおける定常熱負荷除去および非定常熱負荷耐性が、もっとも解決困難な問題
- 核融合原型炉開発のための技術基盤構築の中間的役割を担う
チーム報告「ダイバータは原型炉で想定される運転条件と現在の科学的理解及び技術成熟度とのかい離が極めて大きい」
- 固体の熱伝導には限界。液体で対流を強制的に起こすしかない。
→Actively Convected Liquid Metal Divertor (ACLMD)
- もともとのACLMD概念→液体金属中に電極を敷設し、磁場に垂直に流れる電流による $j \times B$ ローレンツ力を用いて液体金属の対流を起こす。
- 今回の提案→供給と排出があるときに電磁流体中に自然に生じる流れを利用→電極は不要→構造が簡単、低コスト、保守容易
- ディスラプションやELMの後、液体金属表面は平坦化

目的

強制対流液体金属ダイバータ実験をトカマク実機で行うことにより、次の項目などについて知見を得る

- a) 強制対流液体金属ダイバータの炉心プラズマとの整合性
- b) 強制対流液体金属ダイバータによる熱除去の実証
- c) 強制対流液体金属ダイバータによる粒子除去の実証
- d) ディスラプション時、およびその後の液体金属の挙動

一方QUEST計画の主要な目的は

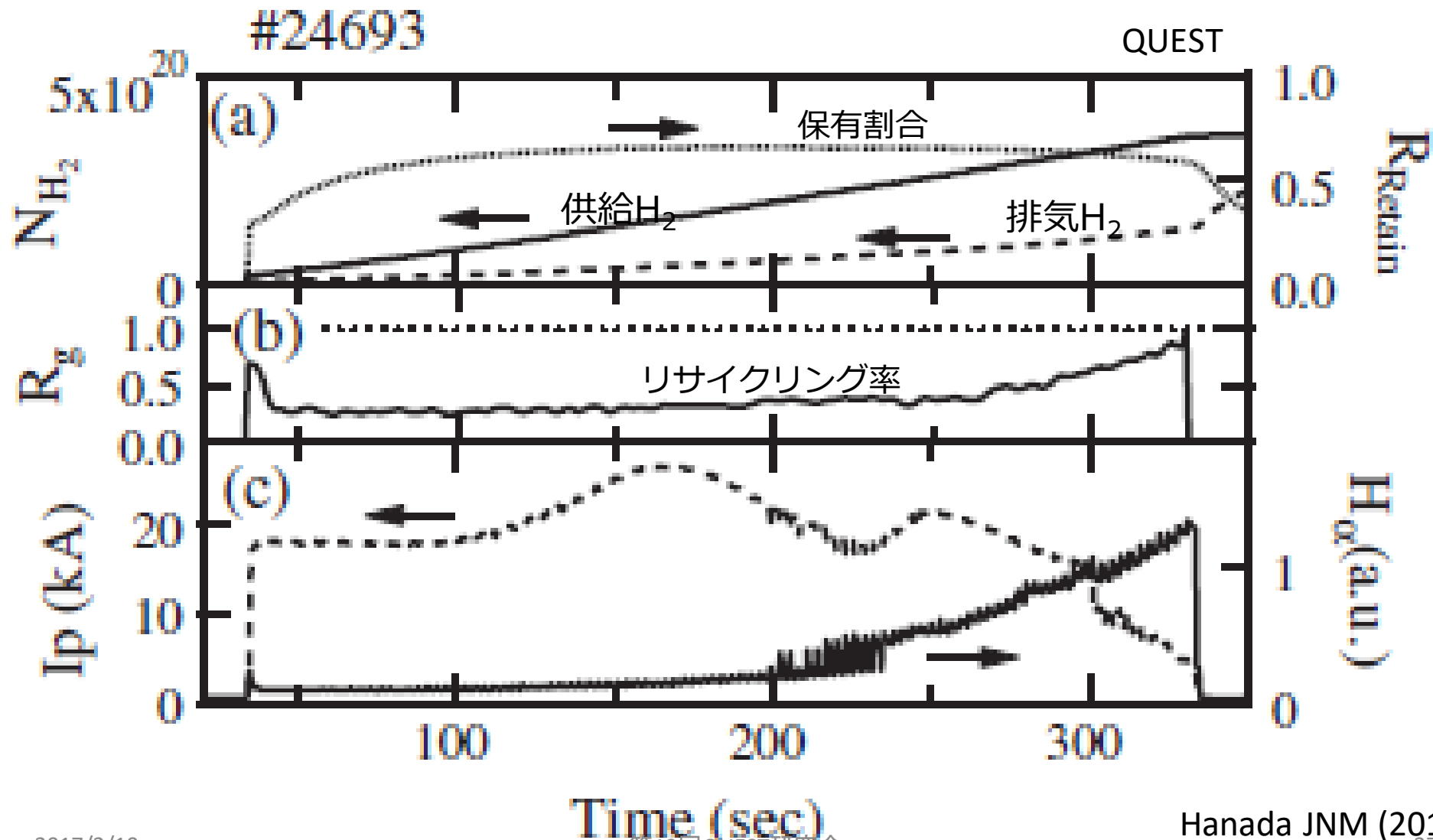
- 1) 高ベータ定常化へ向けた学術基盤研究として、トカマクよりも高いベータ値が達成可能なSTでのプラズマ生成、および定常電流駆動に関する研究を進めること
- 2) STの特徴的磁場配位に適合するダイバータの開発研究、およびダイバータ配位による長時間運転での粒子・熱負荷制御法を確立すること
- 3) 定常運転の学術基盤研究として、STの長時間運転でのリサイクリング制御、および先進的壁制御とプラズマ性能の総合的研究を推進すること

本実験が首尾よく進めば、QUEST計画にも貢献できる

どうしてQUESTか

- QUEST装置は、ベーキング温度が400度C。高温度のベーキングはスズ（融点232度C）などの液体金属を試験するために不可欠。しかも長時間ダイバータ放電が可能。このような装置は国内では他にない。国外でもまれである。
- 九大応力研は、TRIAMの時代からプラズマ壁相互作用についての研究が盛んであり、プラズマ壁相互作用についての理解と関心が深く、QUEST計画の目的にもプラズマ壁相互作用の研究を志向することが明記されている。

長パルス運転では、200秒以降で壁の飽和とともに粒子リサイクリングが増大して放電特性が変化 ⇒ 定常運転の障害の可能性



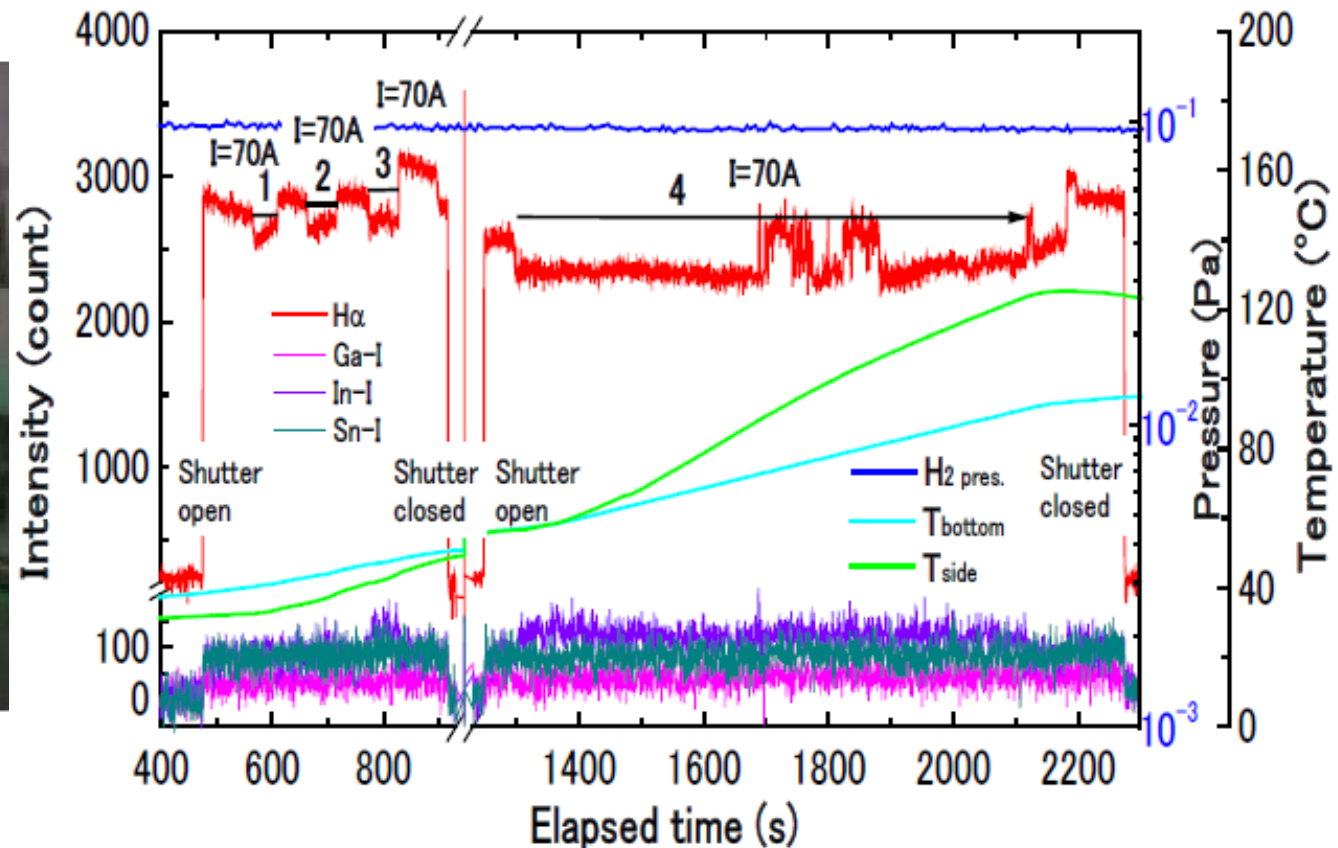
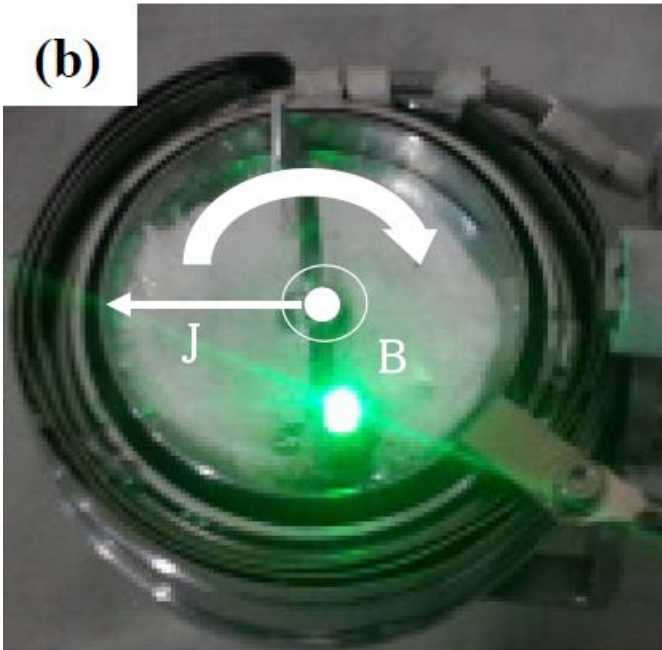
液体金属として何を使うか

GaInSn, Ga, Li, Sn, Pbなどの低融点金属のうち、

- GaInSn, Gaは超高価なので除外。
- Liは高い反応性と腐食性のため除外。
- Pbは毒性のため除外。
- Snは毒性が低く、しかも安価（5kgで18千円程度）。

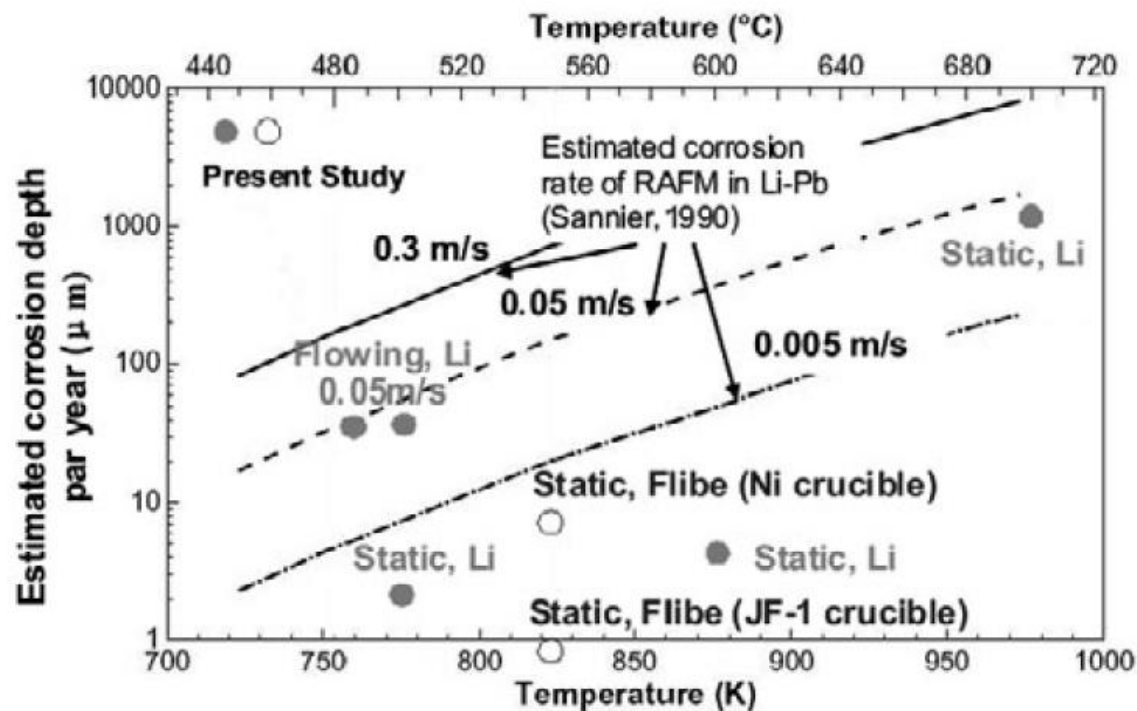
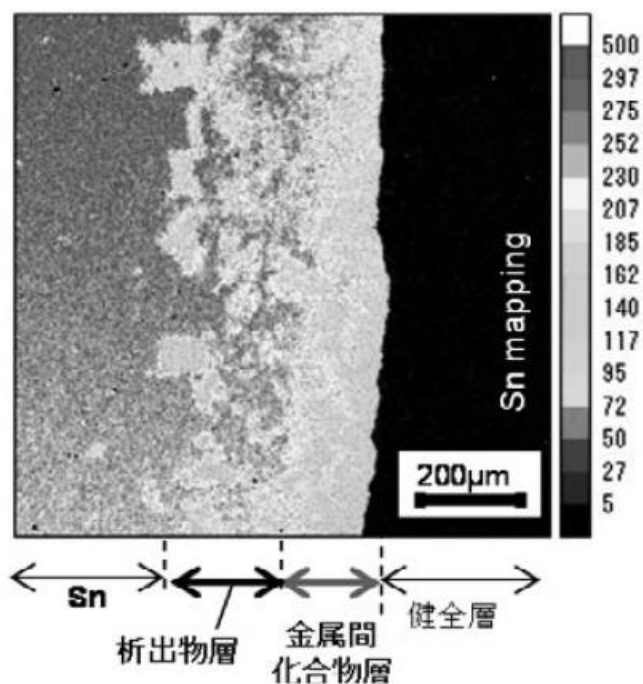
そのためSnを推奨

JxBの原理で液体金属を強制対流させることにより、
 粒子リサイクリングを低減させた状態を800秒以上保持
 ⇒ ダイバータに強制対流させた液体金属を使用すれば
 粒子制御が容易になる可能性を示唆



スズの腐食性

600°CのスズにRAFMを250時間浸漬した場合100 μm 程度の金属間化合物層を形成。しかしLiなどでは低温において腐食速度が顕著に低減（近藤先生がスズで確認予定）



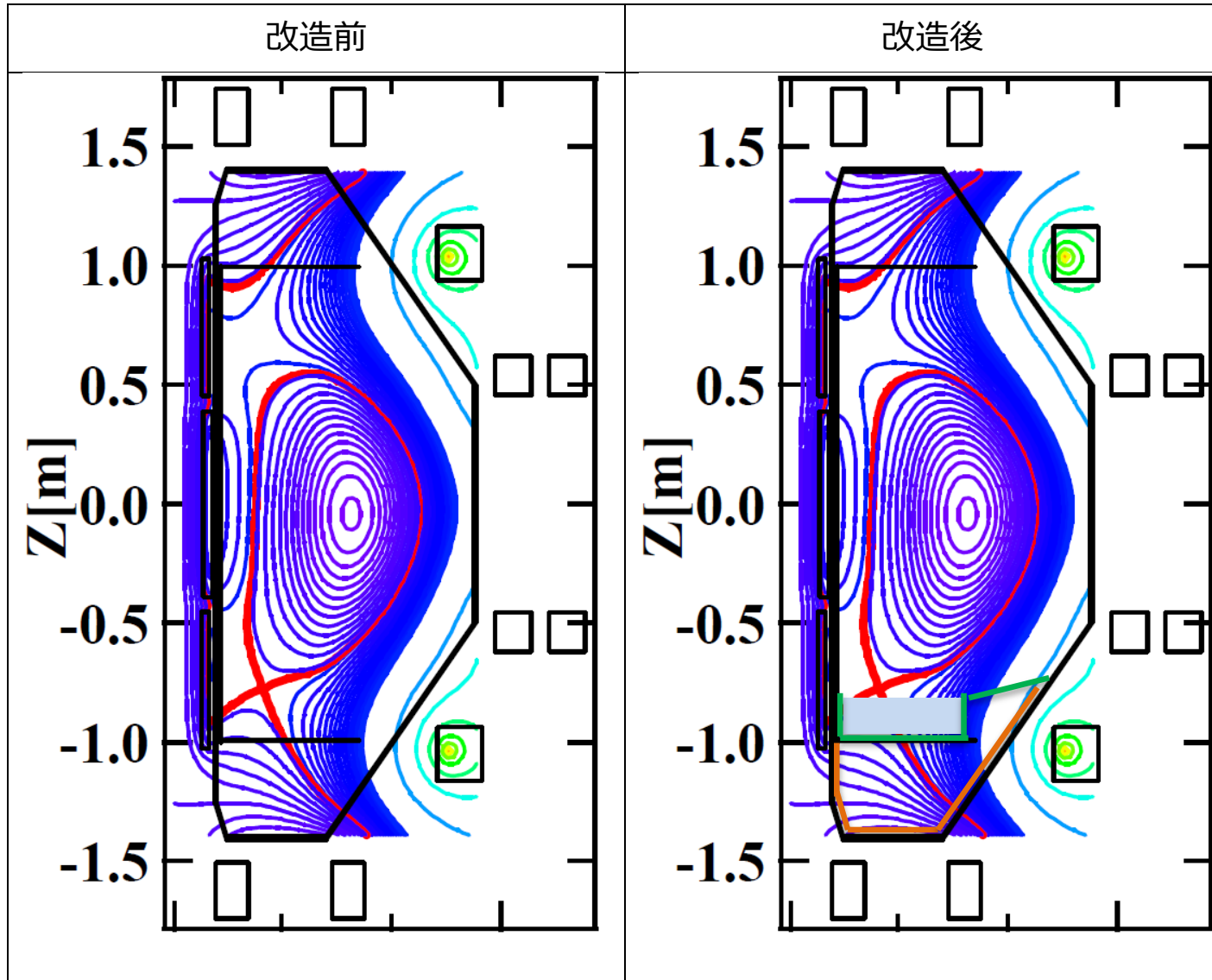
近藤(2016)プラズマ核融合学会誌小特集「液体だけど水じゃない」

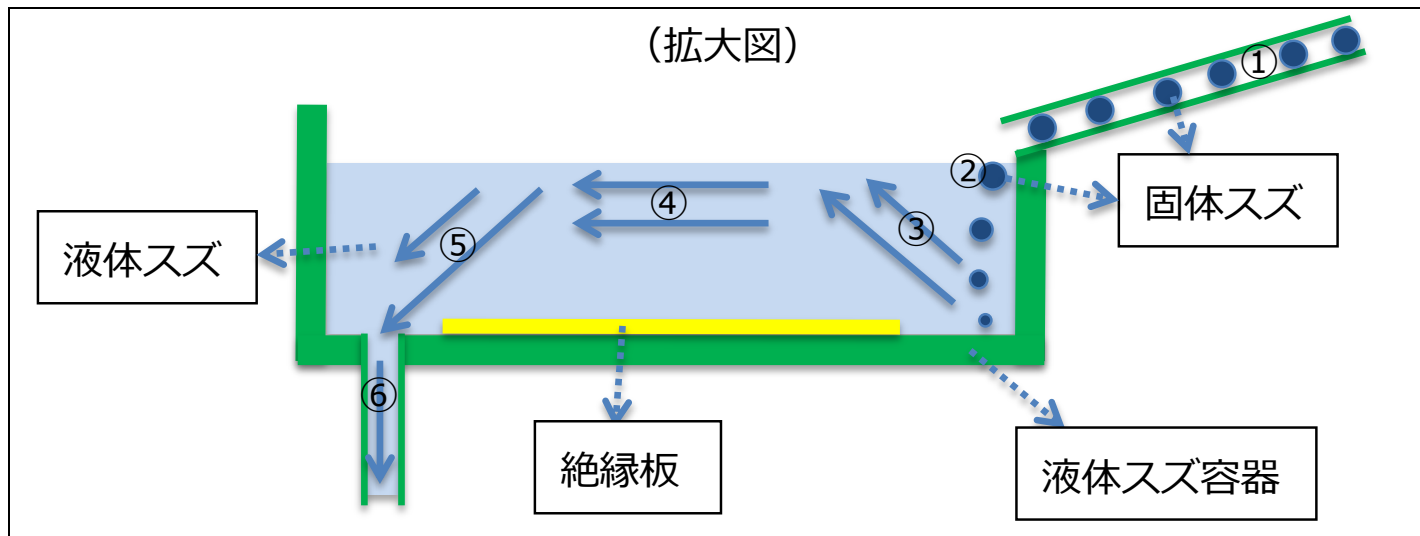
第13回QUEST研究会

スズの安全性

1. Snは金属や酸化物、塩類といった無機化合物の形では毒性が低いため食器や缶詰などに使われている。スズを含む有機化合物の中には非常に強い生物毒性を有するものがある。しかしながら有毒な有機スズ化合物は人工的に複雑なプロセスを経て合成されるもので、自然に大量に合成されるものではない。仮に合成されたとしても、プラズマ環境中では、電子衝撃によって容易に分解される。一般に有機金属化合物による中毒は、経口摂取による体内への蓄積。本件の場合、経口摂取は除外できる。
2. 鉱山などで長期間酸化スズの粉塵に曝される環境では肺が侵されることがある。本件の場合は真空容器内部の作業は短期間である。粉塵の量は予測困難であるので、用心のため防護スーツとフィルターのついたマスクを着用することを推奨。防塵マスクは、粒子捕集効率95%以上のものが入手可能。

改造案

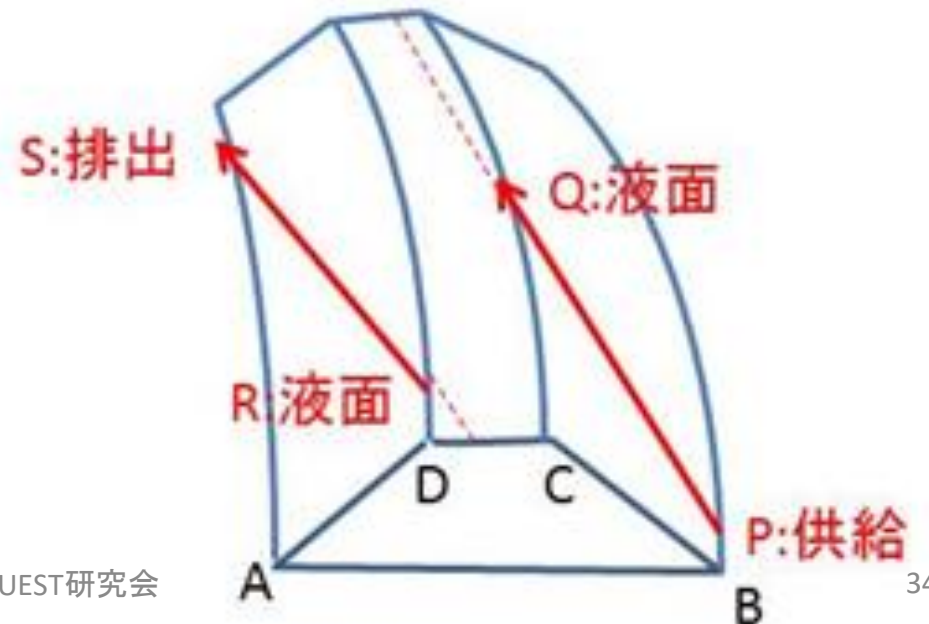
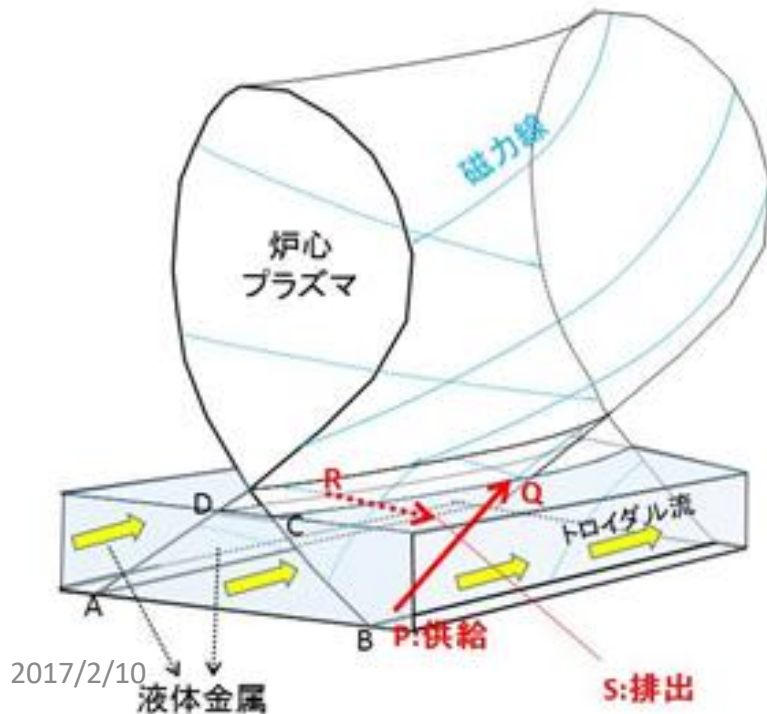




- ① 供給管から固体スズ(または低温の液体スズ)を注入。液体スズでもよいが、低温の固体スズのほうが冷却能力に優れ、循環スズの量を低減できる。
- ② 固体スズが液体スズのなかに沈み、液体スズとの接触により温度が上昇し溶融
- ③ 溶融した液体スズが、磁力線に沿って液面まで上昇
- ④ 液面まで上昇した液体スズは、ポロイダル面で水平方向に移動。速度に磁力線を横切る成分を持ち、起電力 $v \times B$ を生じるが、磁力線の延長上に絶縁板があるため、電流が低減され、 $j \times B$ のdragが低減される。
- ⑤ 液体スズが磁力線に沿って排出管へ流れる。
- ⑥ 排出管に到達した液体スズが、排出される。排出管の内面を絶縁体で被覆するか、排出管を絶縁体で作成すれば、mhd dragは低減できる。

注意：③と⑤の流動は、 $\parallel B$ 。磁力線はトロイダル方向の成分がほとんどであり、液体スズ流動のトロイダル成分が③と⑤で同じ向き。したがって粘性のために液体スズ全体がトロイダル方向に流動。スズの供給と排出がトロイダル方向に局所的であっても、トロイダル方向の流動のため、トロイダル方向の一様性は、かなりの程度担保される。

本研究では、ダイバータ・プレートの材料として、従来方式のタングステンの代わりに、液体金属を用いる（左図の水色直方体の部分）。排出管・供給管はトロイダル周上に多数配備する。液体金属は磁力線方向に動きやすい。供給口Pから液体金属を供給すると、供給された液体金属は磁力線に沿って流れ、液体金属表面Qに達し、ダイバータ・プラズマとの接触によって熱せられ、燃料や不純物の粒子を吸収する(右図のABCD、P,Q,R,Sは、左図のABCD、P,Q,R,Sに対応)。一方で排出口Sから液体金属を排出すれば、Sを通る磁力線に沿った延長上でダイバータ・プラズマと接する点Rまでの液体金属を排出口へ導き、外に排出できる。QとRとは直接磁力線上で繋がってはいないが、磁場を横切る流れや自発的に生じるトロイダル方向の流れ、熱伝導・粒子拡散などの機構で熱・粒子がQR間で輸送される。



期待される結果（熱除去）

加熱パワー P (W)、スズの比重 ρ (kg/m³), スズの比熱 C (J/kg/deg)、スズの流量 f (m³/s), 供給スズの温度 T_{in} (degree C)、排出スズの温度 T_{out} (degree C)とすると、

$$P = \rho C f (T_{out} - T_{in})$$

これから、必要なスズの流量 f は、

$$f = \frac{P}{\rho C (T_{out} - T_{in})}$$

ここで $P = \mathbf{500\ kW}$, $\rho = 7 \times 10^3$ kg/m³, $C = 228.4$ J/kg/deg, $T_{out} = 400^\circ\ \text{C}$, $T_{in} = 300^\circ\ \text{C}$ とすると、
 $f = 3.1 \times 10^{-3}$ m³/s (3.1 litre/s)

固体スズを注入する場合、融解熱 $H_{melt} = 59.2$ kJ/kg を考慮して、

$$P = \rho f \{ C (T_{out} - T_{in}) + H_{melt} \}$$

$$f = \frac{P}{\rho \{ C (T_{out} - T_{in}) + H_{melt} \}}$$

他のパラメータはそのままで、 $T_{in} = 30^\circ\ \text{C}$ (常温、固体スズ) とすると、

$$f = 0.50 \times 10^{-3}$$
 m³/s (**0.50 litre/s**)

$$\mathbf{500\ MW \Rightarrow 0.5\ m^3/s}$$

期待される成果（粒子制御）

Snは、重水素を0.068 at.%まで吸着する*。これを上記の流量のスズに適用すると、スズとともに排出される重水素の流量の上限は、 $1.2 \times 10^{22}/s$ と見積もられる。これは、QUESTの300秒放電で供給される水素の流量 $\sim 1 \times 10^{18} /s$ と比較して4桁大きい。

したがって本方式ではタングステンを材料とするダイバータに比べて熱および粒子の処理能力が格段に改善することが期待される。

*J. P. S. Loureiro, F. L. Tabarés, H. Fernandes, et al., "Behaviour of liquid Li-Sn alloy as plasma facing material on ISTTOK", in the proceedings to ISLA-4 Conference, Granada, Sept. 2015 (to appear in Fus. Eng. Des.).

期待される結果（非定常熱負荷）

ディスラプションやELMなどの非定常熱負荷によってタングステンは溶融し、再固化後に表面に凹凸が生じるので、熱処理能力が顕著に劣化することが懸念されている。

液体金属ダイバータの非定常熱負荷時の挙動については不明であるが、非定常熱負荷の後には、表面は速やかに平坦になることが期待される。

期待される成果(閉じ込め性能)

NSTXでは、Liのリサイクリング低減効果により、閉じ込め性能の改善、ELMの低減、H-mode threshold powerの低減が観測されている

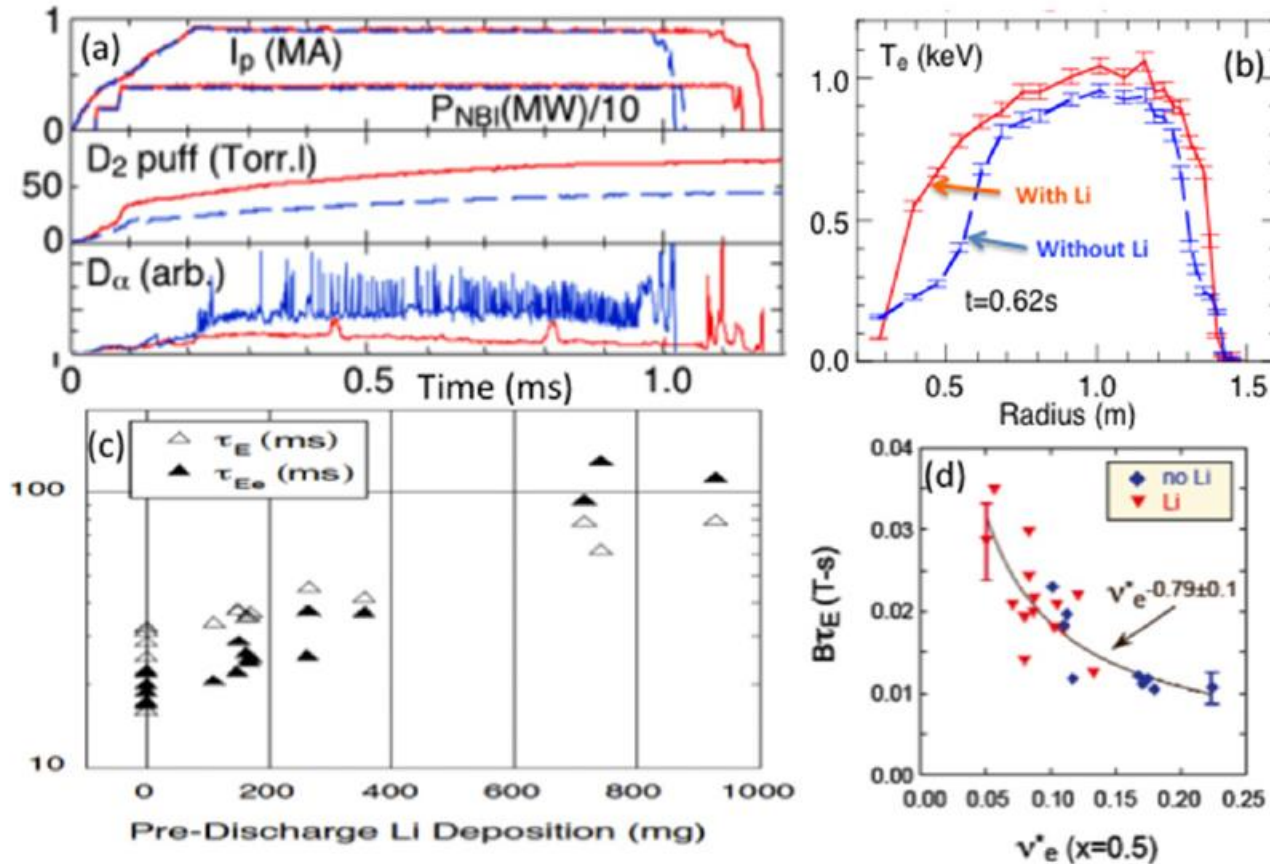
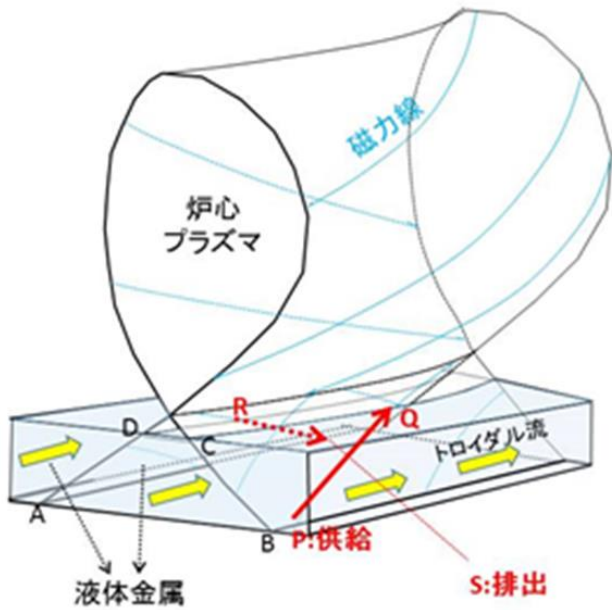


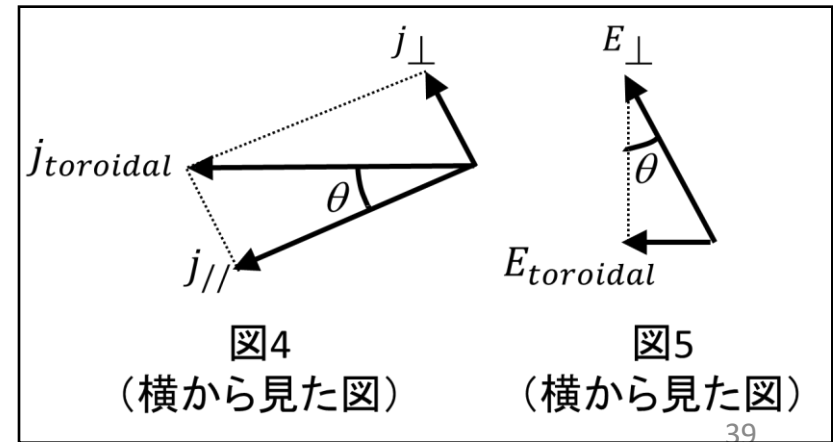
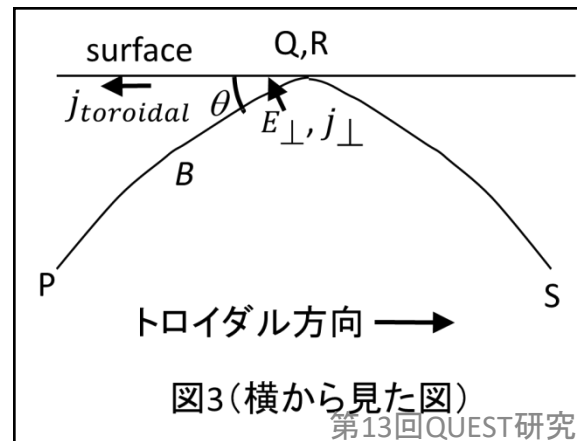
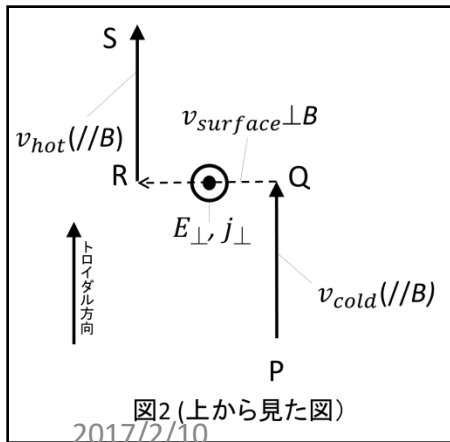
Figure 2. Plasma performance improvements with Li in NBI heated H-mode discharges. (a) Plasma discharge traces with and without Li in NSTX. Red traces are with Li and blue-dashed traces are without Li. (b) Electron temperature profiles with Li (red) and without Li (blue-dashed). (c) Total and electron energy confinement time (τ_E and τ_{Ee} , respectively) versus pre-discharge Li evaporation amount. (d) Normalized energy confinement time versus electron collisionality and without Li as labelled.

磁力線を横切る流れへのmhd drag (トーラス)

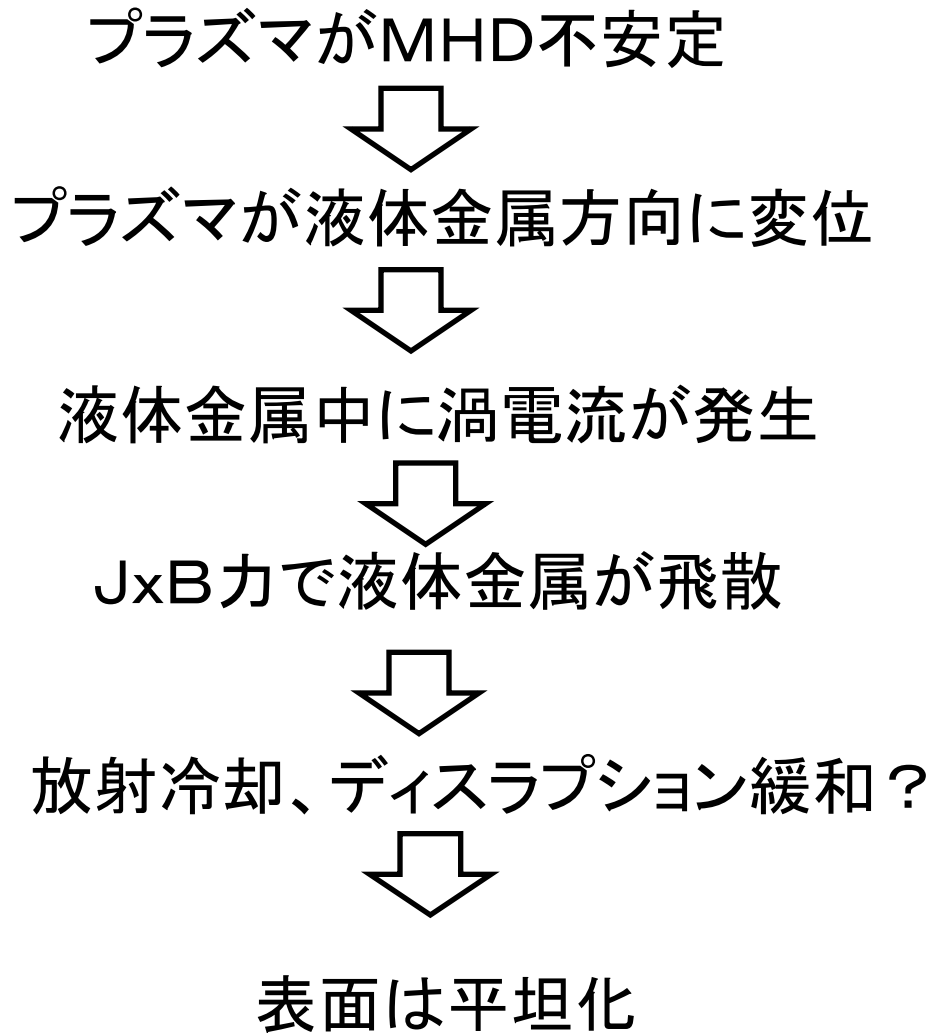


液体金属の表面で磁場を横切る流れ(図2の v_{surface})を作る際、MHD効果による起電力(図2の E_{\perp})が液体金属の流れと磁場の両方に垂直に発生する。 $E_{\perp} = v_{\text{surface}} \times B$
 一方トーラスは軸対称であり、電流 j は $\text{div}(j)=0$ を満たすから、トーラス方向にしか電流は流れない(図3の j_{toroidal})。 $j_{\text{toroidal}} = \sigma E_{\text{toroidal}}$, ここで σ は液体金属の電気伝導度。 j_{toroidal} は磁場に平行な成分 j_{\parallel} と垂直な成分 j_{perp} に分解できる(図4)が、とくに液面付近(図3)では磁場と水平面との間の角 θ は小さい($\theta \sim 0.02$)。

$j_{\perp} = \theta j_{\text{toroidal}}$ また図5から、 $E_{\text{toroidal}} = \theta E_{\perp}$
 したがってmhd drag F の大きさは、 $F = j_{\perp} \times B \delta = \theta j_{\text{toroidal}} B \delta = \theta \sigma E_{\text{toroidal}} B \delta = \theta^2 \sigma E_{\perp} B \delta = \theta^2 \sigma v_{\perp} B^2 \delta = 0.02^2 \cdot 10^7 \cdot 0.3 \cdot 5^2 \cdot 0.05 \sim 1.5 \times 10^3 \text{ Pa} = 0.015 \text{ atm}$ と小さい。ただし δ は、熱流束の幅。



MHD不安定性の液体金属への影響



温度管理

温度管理が実験において極めて重要である。すでに述べたように液体スズがトロイダル及びポロイダル方向に順調に流動することが確認できれば、温度管理は困難ではない。流動や磁場の影響については分かっていない。仮に腐食が進み、液体金属が漏洩すると真空容器に到達する。その場合、真空容器の温度(150°C)がスズの融点(232°C)以下であるので、真空容器に接触したスズは固化する。固化したスズは真空容器を腐食しないので、容易に剥がすことができる可能性が高い。万一大量に漏出した場合、真空容器底部のポートに侵入したり、高温である時間真空容器に接触すると、合金化して剥がれなくなる可能性がある。そのための用心に真空容器の底部にSUS316のライナーを敷設すれば、真空容器の健全性は担保される。

必要な機器

機器	仕様
液体金属 容器	大半径：内側0.23m、外側:0.83m、 深さ：0.15 m（液体金属の深さは約 0.1m）。材料：ステンレス。
液体金属 配管	内壁を絶縁材でコーティング、ない し絶縁材で配管を製作すれば、配管 内部のmhd dragを低減できる。
液体金属	0.2 m ³ （容器内の分のみ。実際は、 この数倍必要。） スズを採用。
液体金属 駆動装置	電磁ポンプ

必要な計測器

整備済み

計測器	役割
磁気測定	プラズマ平衡
線密度測定器	粒子バランス
放射損失測定器	パワーバランス
分光器	粒子リサイクリング、不純物量
赤外線カメラ	液体金属ダイバータの表面温度上昇、パワーバランス

要検討・要整備

計測器	役割
流量計（要検討）	液体金属の流量、流速 （液体金属の表面温度上昇から推測）
熱電対	液体金属の温度

要約

- 強制冷却液体金属ダイバータACLMDには、核融合炉のダイバータとして有望な特性(熱除去能力、粒子除去、非定常熱負荷後の回復)が期待できる。
- 電極なしのACLMDの実現性がトカマク実機で実証されれば、核融合炉の設計の簡素化、保守の簡素化、運転の信頼性向上、稼働率向上、低コスト化が期待される。
- QUEST装置は高温壁など液体金属ダイバータの試験に魅力的な性能を有している。
- QUEST装置における試験用の液体金属としてはスズが有望。
- これまでの検討では、技術的に克服困難な課題は見つかっていない。
- 本実験が成功すれば、QUEST計画の目的達成のみならず核融合炉設計にも貢献しうる。