

QUESTプラズマ真空容器ベーキングシステム

川崎, 昌二
九州大学応用力学研究所技術室

<https://doi.org/10.15017/17835>

出版情報：九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート. 11, pp.87-94, 2010-03. Research
Institute for Applied Mechanics, Kyushu University

バージョン：

権利関係：

QUESTプラズマ真空容器ベーキングシステム

九州大学応用力学研究所技術室 川崎昌二

1. はじめに

高温プラズマ力学研究センターでは、平成20年3月にプラズマ境界力学実験装置(QUEST)が完成し、実験・研究が進められている。QUESTは球状トカマク実験装置で、その真空容器は球状のため大きな表面積を有する。したがって真空容器を高真空に保つためには真空容器壁からのアウトガス(ほとんど水蒸気分子)を極力少なくする必要がある。そのためには真空容器のベーキング(加熱)は欠かすことはできない。これまでの技術レポート Vol.8¹⁾、Vol.9²⁾、においてプラズマ真空容器のベーキング自動化システムの開発について報告したが、今回はその後 QUEST において実施した外側真空容器およびセンタースタック容器(CS容器)のベーキングシステムについて報告する。

2. ベーキングシステム構成

図1に QUEST プラズマ真空容器のベーキングシステム構成を示す。QUEST のプラズマ真空容器は直径 2.8m の球形をした外側真空容器と、中心にはトロイダルコイルやセンタースタックコイルのための CS 容器と呼ばれる中空の真空容器で構成されている。外側真空容器にはベーキング用のシーズヒータが取り付けられているが、CS 容器には構造上シーズヒータは取り付けられては無く、ガスを流すためのコルゲート部が内側(大気側)に設置されている。

2. 1 外側真空容器ベーキング

外側真空容器には、シーズヒータが全周 8 等分された各セクションに 3 本ずつ、合計 24 本取り付けられている。ベーキング電源は、三菱電機製のベーキング電源盤(出力:三相 21kVA 200V 60A、スライダック出力可変、4CH 内蔵) 2 台とベーキング監視盤から構成されている。

8CH ベーキングコントローラ(1)(技術レポート Vol.9²⁾ に記述したものと構成は同じであるが QUEST 用に SSR の出力容量を増強したものは、制御用パソコンの指令を受けヒーターの電流を PID 制御し温度コントロールする。

2. 2 CS 容器ベーキング

中心の CS 容器内壁(大気側)にはコルゲート部が取り付けられていて、高温壁実験時やプラズマの熱から中心のコイルを守るため、冷却用のガスを流せるようになっている。今回の CS 容器のベーキングでは、逆にこのコルゲート部に高温の空気を流して加熱を行う。

図1において、8CH ベーキングコントローラ(2)(技術レポート Vol.8¹⁾ で記述)は、制御用パソコンの指令を受け加熱ヒーター(1)、(2)の電流を PID 制御し温度コントロールする。

コンプレッサーは 2009 年 4 月に大容量(流量 1 m³/min)で、オイルフリータイプを新設した。また連続運転のために自動アンローダー式とした。加圧除湿器盤(旧 TRIAM-1M コンデンサー盤において使用)にはオイル式コンプレッサー、圧縮空気の除湿装置とエアフィルター、出口圧力調整用の減圧弁などを有している。ただし、加圧除湿器盤のコンプレッサーは、空気の流量が少なく(最大 400L/min)、しかもオイル式であるため圧縮空気にオイルが混入し配管、加熱ヒーター、CS 容器のコルゲート内部などをオイルで汚すため使用していない。

空気を加熱する加熱ヒーターは、流量が大きく加熱温度も高い、日本ヒーター株式会社製の空気加熱ヒーターを使用した。図2に CS 容器ベーキングシステムの写真を示し、表1にベーキングシステムに使用している機器の主な諸元を示した。

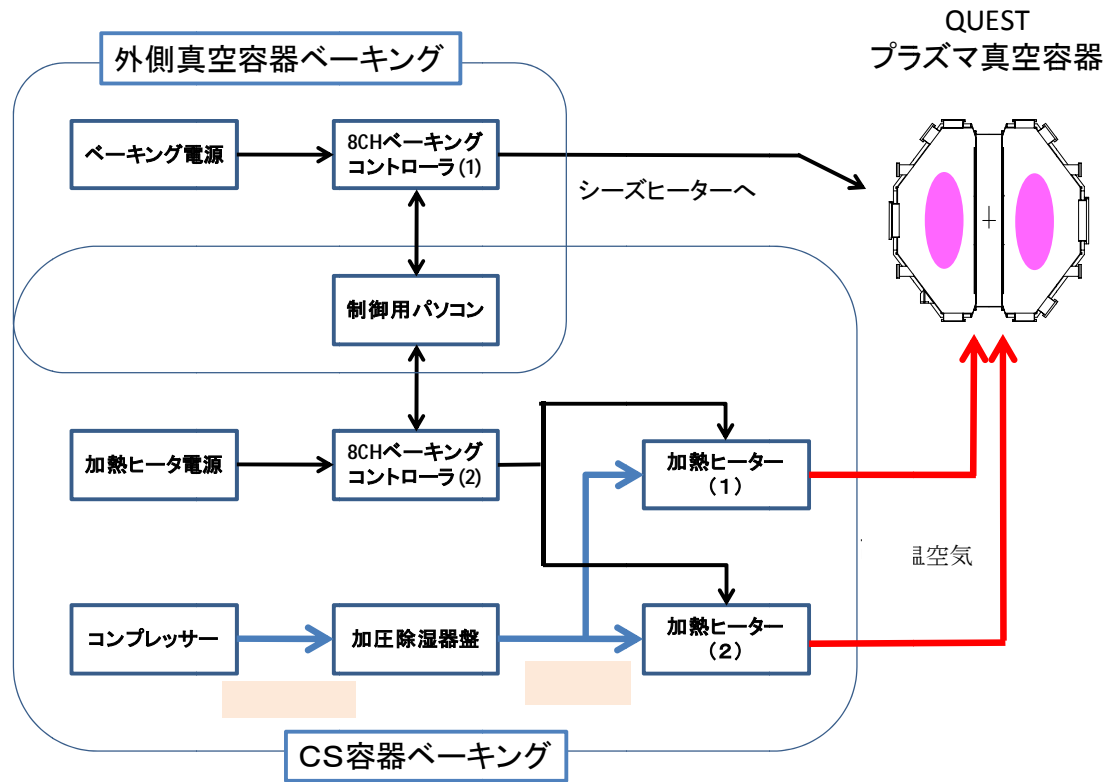


図1 ベーキングシステム構成

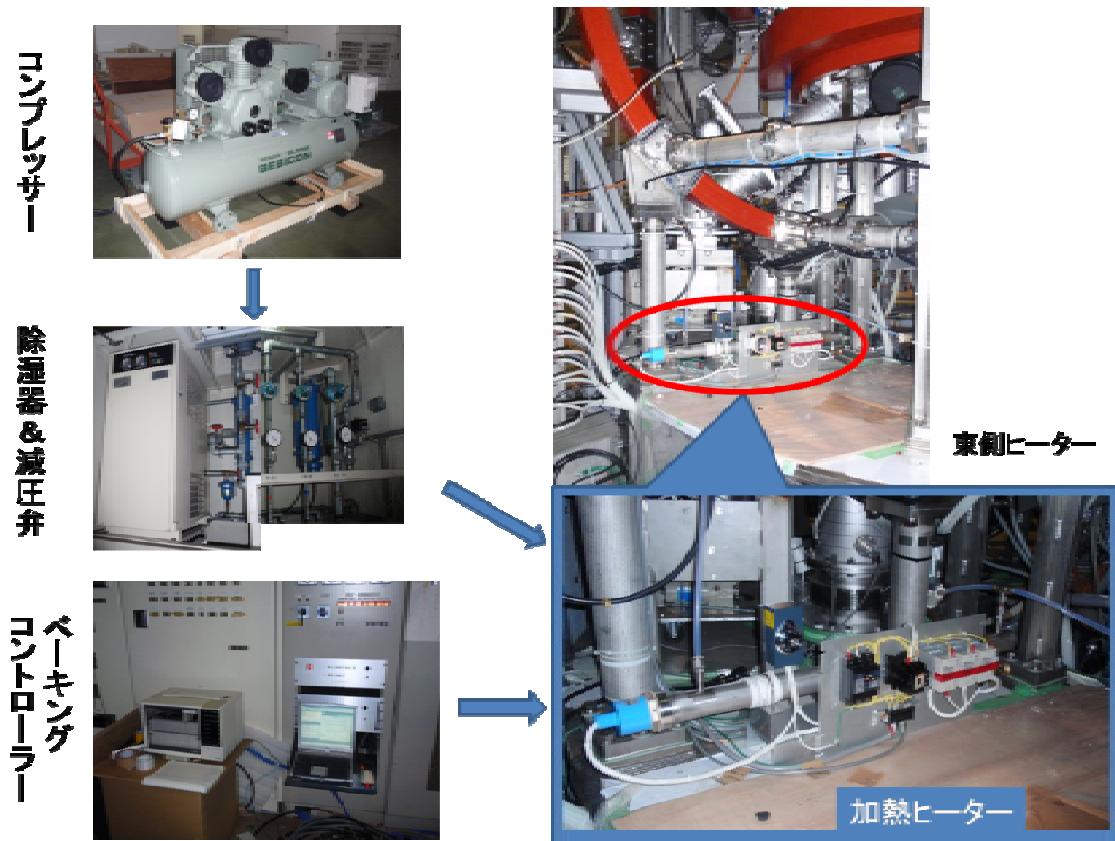


図2 CS容器ベーキングシステム

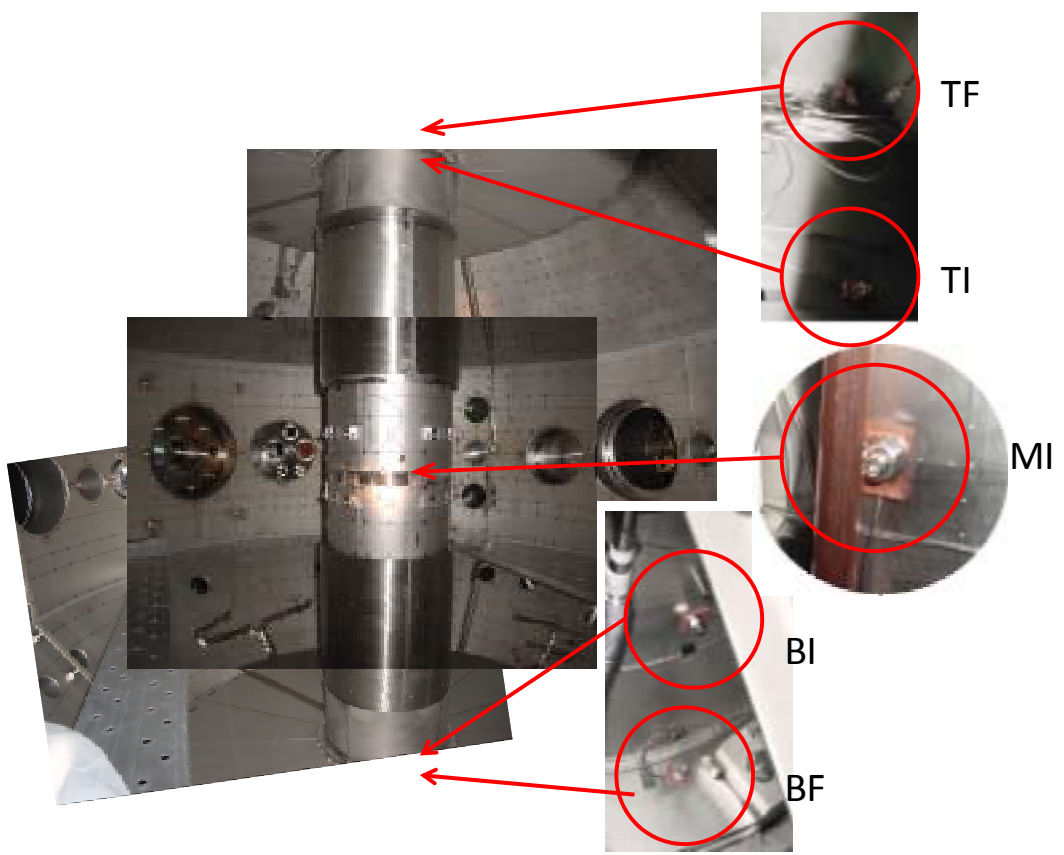
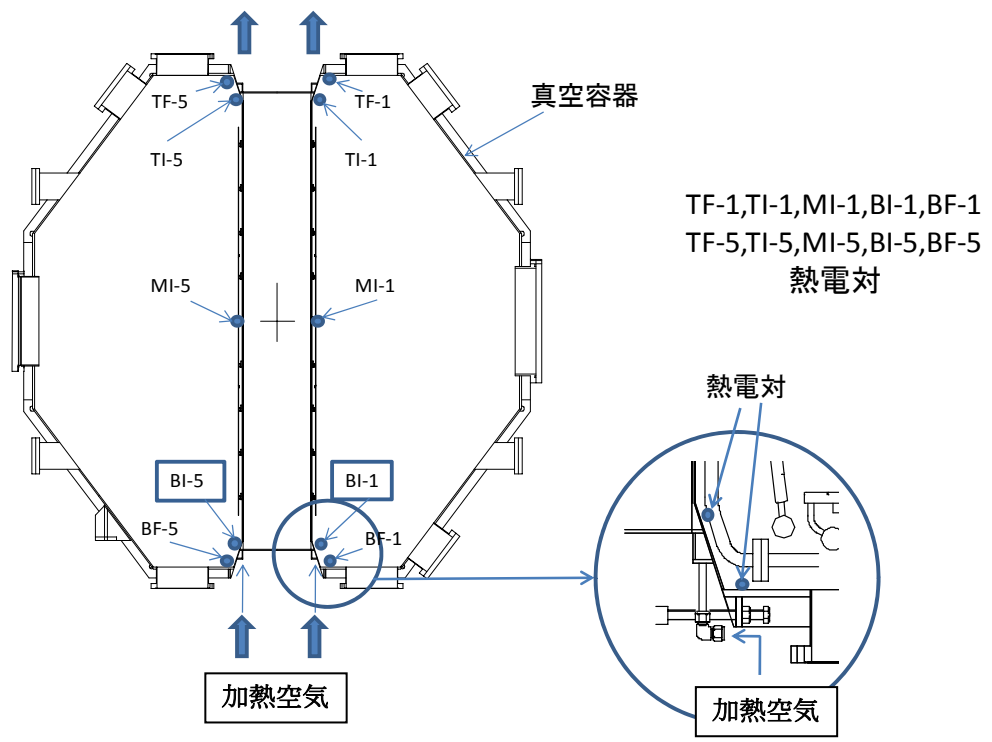


図3 CS容器熱電対取付け位置

表1 ベーキングシステムの主な諸元

ベーキング電源盤(2台)	三菱電機製 定格入力 : 三相 200V 75kVA、 最大出力 (1回路) : 三相 21kVA 200V 60A (連続定格)、 出力電圧調整範囲 : 0V~200V 4回路内蔵、スライダック制御方式 (手動)
シーズヒータ	ヒーター定格電圧 : 200V、1600W、24.96Ω 全本数 : 3 × 8 本
空気加熱ヒーター電源	200V、30A
空気加熱ヒーター(2台)	日本ヒーター製 流量 : 1Nm ³ /min, 温度 : 150℃ (出口温度 200℃max) 定格電圧 : 三相 200V 5kW
コンプレッサー	日立ベビコン 11OU-8.5GB5/6 出力 : 11kW, 最高圧力 : 0.85MPa, 吐出空気量 : 1,280L/min
8CH ベーキング コントローラ (2台)	自作 出力 8CH、SSR 方式、PID コントロール

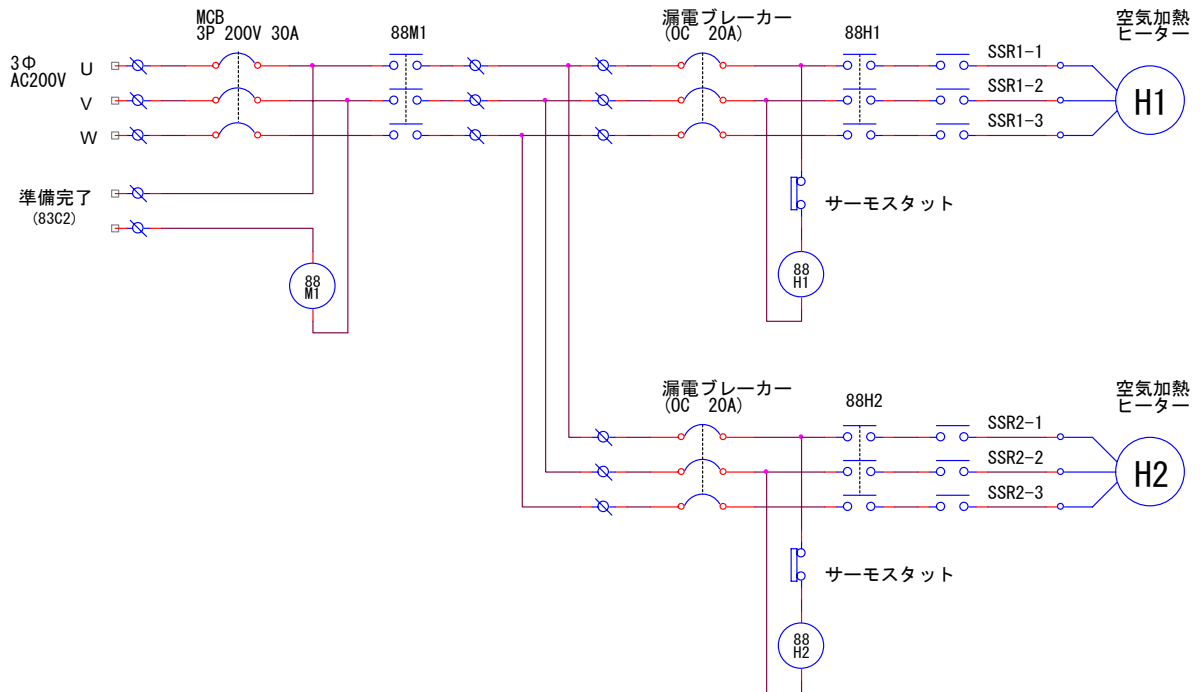


図4 CS 容器加熱ヒーター回路

CS 容器の熱電対は、図 3 に示すように東西にそれぞれ 5 箇所ずつ取付けられている。ベーキングコントローラでは、東西それぞれ 1 箇所の温度を熱電対で検出し加熱ヒーターをコントロールしている。図中の写真は、中央部の内側保護リミター板を取り外したときの CS 容器を、真空容器内部から写した写真である。

2. 3 CS 容器加熱ヒーター回路

図 4 に CS 容器加熱ヒーター回路を示す。ヒーターを制御する SSR1-1~3、SSR2-1~3 は 8CH ベーキングコントローラ(2)により駆動される。ヒーターに取り付けられているサーモスタットは、ヒーターが何らかの原因でオーバーヒートした時に回路を遮断する。また電磁開閉器 88M1 は、コンプレッサー、除湿器、空圧が REDY になったとき ON になるインターロック回路で、圧縮空気が停止したときなどは OFF になりヒーターのオーバーヒートを防止する。

3. CS 容器ベーキング結果

図 5 は前年度実験（旧コンプレッサー使用）時のベーキング結果で、東側、西側ともに下部より加熱した場合である。横軸は熱電対の位置を示し、縦軸はその位置の温度を示す。ベーキングは熱電対 BI-1、BI-5 の位置の温度制御をおこなっている。図から CS 容器出口付近 TI-1、TI-5 の温度が最も低くなっていることがわかる。

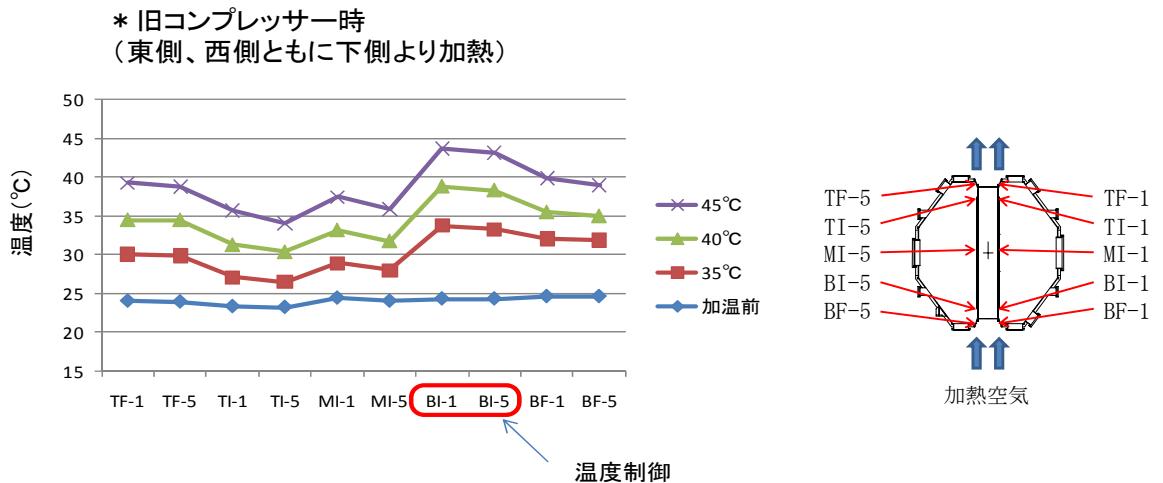


図 5 旧コンプレッサー使用時の温度

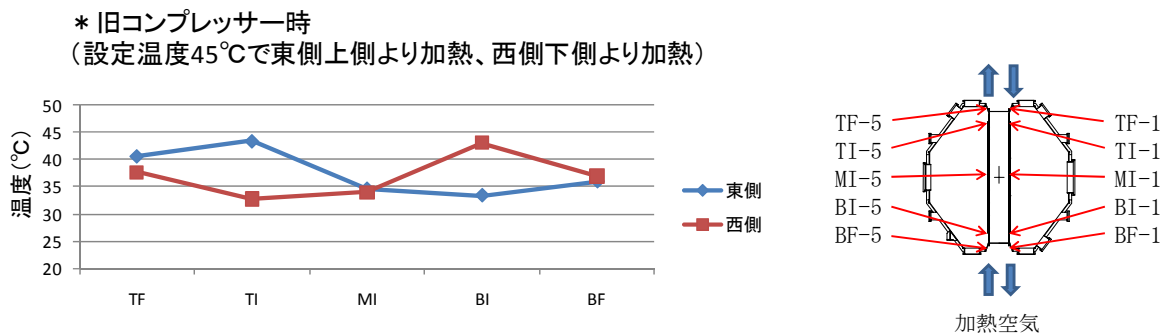


図 6 旧コンプレッサー使用時、東西上下より加熱

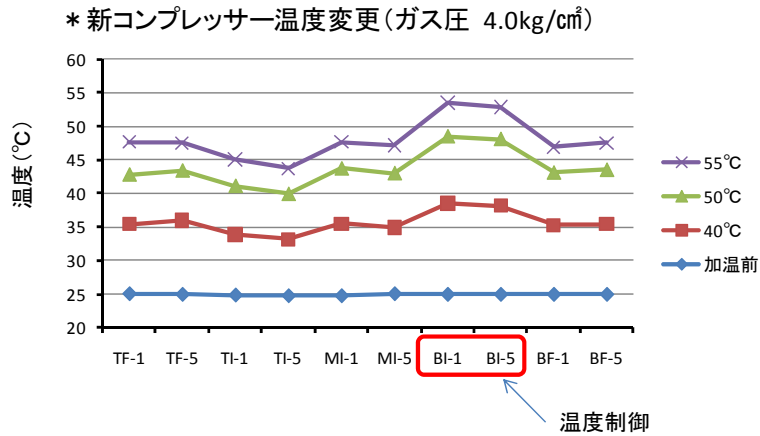


図7 新コンプレッサー使用時の温度 (東西とも下部より加熱)

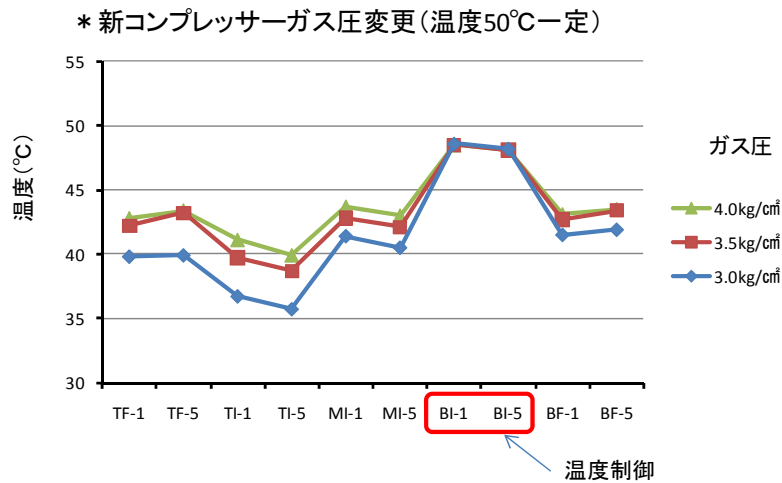


図8 新コンプレッサー空圧変更時の温度変化 (東西とも下部より加熱)

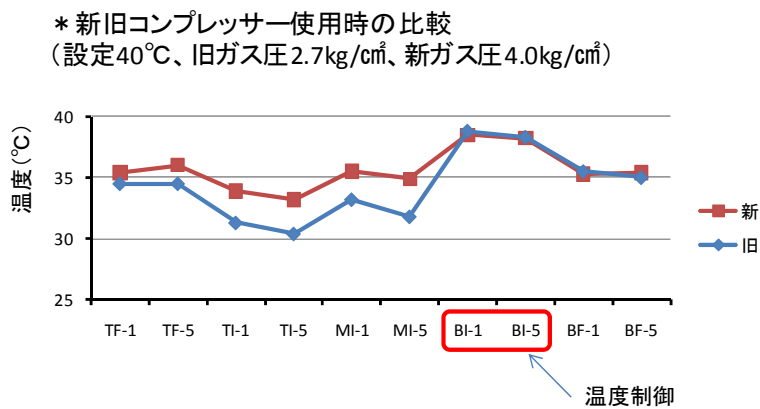


図9 新旧コンプレッサー使用時の温度の比較

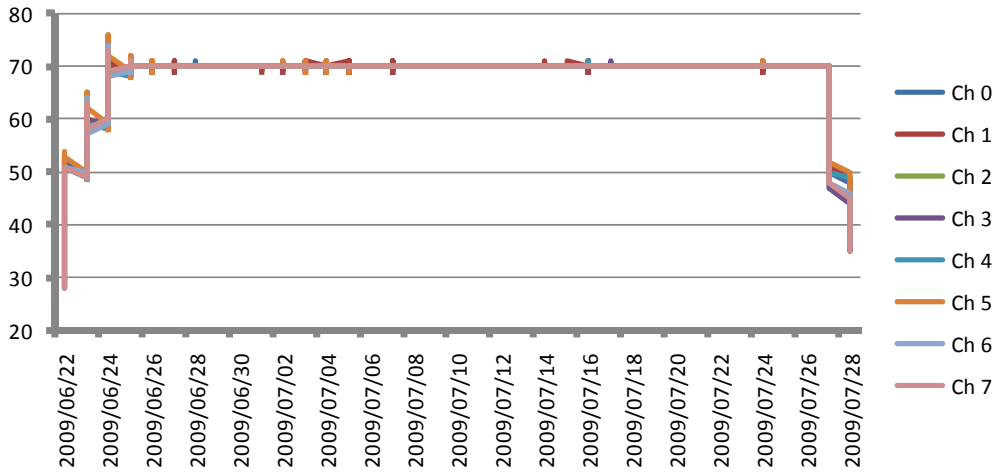


図 10 外側真空容器温度(2009/6/22～7/28)

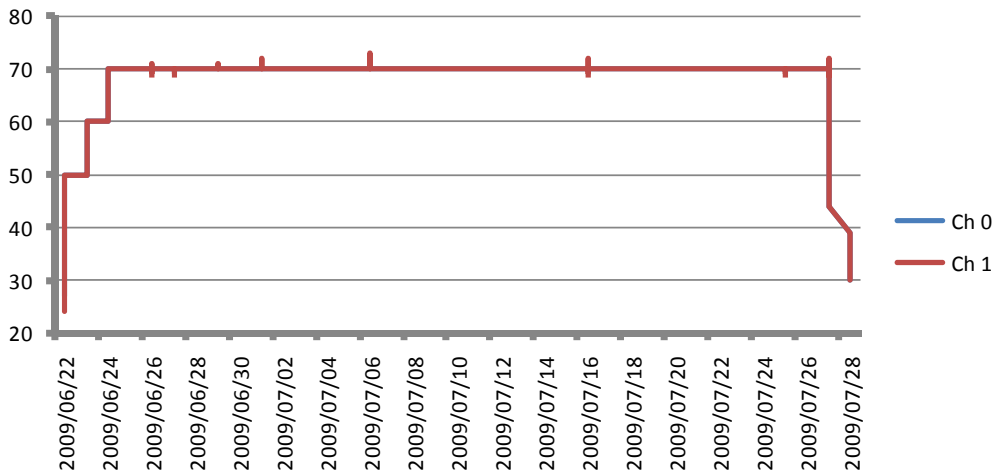


図 11 CS 真空容器温度(2009/6/22～7/28)

TF-1、TF-5 および BF-1、BF-5 の温度は、外側真空容器も同じ温度でベーキングしているのでその熱伝達があると思われる。CS 容器の高温空気の入口と出口の温度差は、図から分かるように加熱温度が高くなるにつれ大きくなることが分かる。加熱設定温度 45℃で 10℃近く差が出来ている。

図 6 は東側を上側より加熱、西側を下側より加熱したときの結果である。東側、西側の相互の熱伝導を期待したが効果は見られなかった。

図 7 は新コンプレッサー使用時の設定温度と各位置の温度、図 8 はコンプレッサー出口圧力を変化させた場合の各位置の温度を示す。これらから出口圧力を上げる（空気の流量を増す）と各位置の温度差が少なくなることが分かる。ただし、流量は流量計を設置していないので測定できていない。

図 9 は新旧コンプレッサー使用時の温度の比較である。新コンプレッサーに変更して吐出空気量が増えたことによって、高温部と低温部の温度差が少なくなり改善されたことが分かる。

4. 2009 年度前期実験期間中におけるベーキング結果

図 10、図 11 は 2009 年度前期の実験期間中のうち 6/22～7/28 の期間ベーキングを行った時の記録である。各 Ch は温度制御を行っている熱電対を示している。ベーキング昇温時は真空容器の温度全体が均一に上昇するように温度設定を室温から 50℃、60℃、70℃と徐々に変更していった。

昇温速度は毎時 5℃に設定した。図 10 において外側真空容器温度では設定変更時にオーバーシュートが見られるが、コントローラの PID 定数の調整不足と思われる。また、所々グラフにヒゲが見られる。これはプラズマ放電時の通電ノイズを熱電対が拾ったためと思われ、実際に温度が変化したわけではない。

5. まとめ

CPD 実験装置から QUEST 実験装置になってベーキングは、外側真空容器だけではなく新たに CS 容器のベーキングも行わなくてはいけなくなった。しかもヒーターを設置できるスペースがないので高温空気で加熱することしかできない。そのため均一に加熱することが非常に難しい。今回のベーキング結果から高温空気の流量を増やすと温度差は少なくなることが分かった。また、高温空気入口を東西で上下別々に変更して相互の熱伝導で上昇することを期待したが効果は見られなかった。

今年度後期の実験では、CS 容器の高温空気入口を東西の下側からだけではなく、一定時間毎に上下交互に切り替えて加熱する方法を試行している。この結果に関しては次回報告したい。

今後は、CS 容器の温度上昇・温度均一化の方策としてコンプレッサーや加熱ヒーターを増設し高温空気流量を増やすことや、現状ではコンプレッサーとヒーター間の距離が長いこと発生している配管の圧損を減らすため配管の増設、および CS コイルに交流を流して誘導加熱を行うことなどを検討している。

謝 辞

ベーキングシステムの製作にあたっては、予算措置を含め、ご指導・助言を戴いた高温プラズマ力学研究センター長 関子秀樹 教授をはじめ、高温プラズマ力学研究センターの先生方に感謝いたします。

参考文献

- 1) 川崎昌二：小型 PWI 実験装置(CPD)におけるベーキング自動化システムの開発，九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート(March 2007)Vol.8, p32-50.
- 2) 川崎昌二：(続) ベーキング自動化システムの開発，九州大学応用力学研究所技術職員技術レポート(March 2008)Vol.9, p62-70.