

(様式 5)

## 「秋田大学研究者海外派遣事業」帰国報告書

平成28年7月26日

所属・職名： 理工学研究科・准教授

氏名： 吉村 哲

派遣期間： 平成28年2月3日 ~ 平成28年7月1日

派遣研究機関名： 英文 INESC Microsistemas & Nanotecnologias

： 和文 INESC マイクロシステムズ・ナノテクノロジーズ

研究課題： 次々世代磁気記録デバイスの創製・実現に向けた高機能材料薄膜の作製  
およびそれを用いた高性能多層膜素子の形成

### ○研究概要

#### 研究の背景

今日の情報化社会を支えている主な記録デバイスは、大容量、単位容量あたりの価格が安い、磁気記録装置（ハードディスクドライブ）である。しかし、本装置は、①記録容量の増大傾向が飽和しつつある、②稼働時の消費電力が大きい、③情報書込み時の消費電力がとりわけ大きい、④書込みが困難になってきている、⑤貴金属使用量が増大傾向かつ素子構造が複雑化傾向で価格が上昇傾向にある、⑥衝撃耐性が弱い、などの問題がある。これに対して、上記の①②⑤⑥を解決する、磁性固体メモリ（レーストラックメモリ）の研究が盛んになってきている。しかし本メモリは、③④の解決が難しいのみならず、⑦記録再生のエラーレートが高い、という問題もあり、高性能記録デバイスとしてのパフォーマンスとしては不十分である。本報告者は、強磁性かつ強誘電性を有する材料、そして、高スピン分極かつ高磁気異方性を有する材料、を用いることで、電界により磁化方向を制御することで情報を記録する新規な手法「電界書込み磁気記録方式」を適用させることが可能（③④の解決が可能）な、そして、高い再生信号を安定して得ることが可能（⑦の解決が可能）な、超高性能なレーストラックメモリを提案している。そして、報告者は実際に、強磁性かつ強誘電性を示す薄膜を作製することに成功しており、またそれを用いて、電界印可により磁化方向を反転させること、つまり電界書込み磁気記録方式を実証することにも成功しており、本メモリの基本動作の検証を終えている。上記の種々の高機能材料薄膜を用いた本超高性能メモリの開発は、平成27年10月より、科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業「さきがけ」においても行っている。

#### 本研究の目的および実験装置

本研究では、これまで電界書込み磁気記録方式の実証に用いてきた強磁性かつ強誘電性を有する  $(\text{Bi}, \text{Ba})\text{FeO}_3$  に対して、より大きな飽和磁化および磁気異方性を有する  $\varepsilon$  構造の  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  にお

## (様式 5)

ける薄膜の合成を、また、高い再生信号を安定して得るために有効な、高いスピントランスミッタ率および大きな磁気異方性を有するルチル構造の  $\text{CrO}_2$  における薄膜の合成を、それぞれ検討した。上記のいずれの材料も規則構造を有する準安定相であるため、化学合成法等による微粒子形状では合成が確認されているが、薄膜形状ではほとんど合成が実現されていない。報告者は過去に、マグネトロンスパッタリング装置（秋田大学地方創生センター2号館のクリーンルームに設置）を用いてルチル構造の  $\text{CrO}_2$  薄膜の作製を試みたが、合成することはできなかった。よって、酸化の促進（価数の増大）や規則構造化に効果的と考えられる、成膜中の薄膜へのイオン照射が可能なエネルギーアシスト型のイオンビームスパッタリング装置（INESC-MN のクリーンルームに設置）を用いて、薄膜作製を行った。スパッタリングターゲット表面での反跳イオンのエネルギーが低い（薄膜へのダメージが小さい）Xe イオンビームを用いて成膜し、成膜中の薄膜に、Ar イオンや酸素イオンを照射することが可能である。尚、その Ar や酸素のイオンにおいて、イオンのエネルギー（加速電圧）、密度（プロファイル）、量（電流）、入射角度（基板ホルダーの傾き角）を自在に制御することができる、極めて制御性の高い装置である。

### 実験結果

$\epsilon$  構造の  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  薄膜、およびルチル構造の  $\text{CrO}_2$  薄膜、の合成については、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  スパッタリングターゲットと ST0 (111) 基板、および  $\alpha\text{-Cr}_2\text{O}_3$  スパッタリングターゲットと  $\text{TiO}_2$  (001) 基板、を用い、アシストイオンの条件を種々変化させた試料の作製を行った。X 線回折プロファイルおよび磁化曲線から、アシストビーム無しで作製した場合には、いずれの試料においても、X 線回折プロファイルにおいて明確な回折ピークは無く、磁化曲線においても磁化および保磁力が小さいが、Fe 酸化膜の場合は、Ar イオンビームの電力が 50 W・電圧が 60 V の時、Cr 酸化膜の場合は、Ar+ $\text{O}_2$  イオンビームの電力が 60 W・電圧が 100 V の時、それぞれ、 $\epsilon$  構造の  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (222)、およびルチル構造の  $\text{CrO}_2$  (002)、の回折ピークが見られ、磁化曲線においても、磁化および保磁力が増大した。イオンビームの加速電圧をさらに上昇させると、X 線回折プロファイルや磁化曲線の結果から、いずれの試料においても、逆に薄膜へのダメージの付与、安定相の生成、などにより、 $\epsilon$  相およびルチル相が消失した（図 1、2）。次に、Fe 酸化膜の場合は 50 W・60 V の条件に、および、Cr 酸化膜の場合は 60 W・100 V の条件に、それぞれ固定し、密度（プロファイル）を変化させた。Fe 酸化膜の場合は、低密度のイオンビームを照射することにより、 $\epsilon$  構造の  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (222) の回折ピークが更に大きくなり、磁化も大きくなった（図 3）。Cr 酸化膜の場合は、高密度のイオンビームを照射することにより、ルチル構造の  $\text{CrO}_2$  (002) の回折ピークが更に大きくなり、磁化も大きくなった（図 4）。以上より、アシストイオンビームの条件を最適化することにより、 $\epsilon$  相およびルチル相の形成量が増大することが確認された。

### 今後の予定

今現在、作製した試料の熱処理などを行っており、Fe 酸化物薄膜における  $\epsilon$  相、および、Cr 酸化物薄膜におけるルチル相、の生成量の増大を図っており、あわせて、アシストビーム条件と規則構造生成量の相関についての検討を行う予定である。最終的に、所望の物性を有する各薄膜を複合積層化させることで、高性能メモリの機能検証を行うことを予定している。

(様式 5)

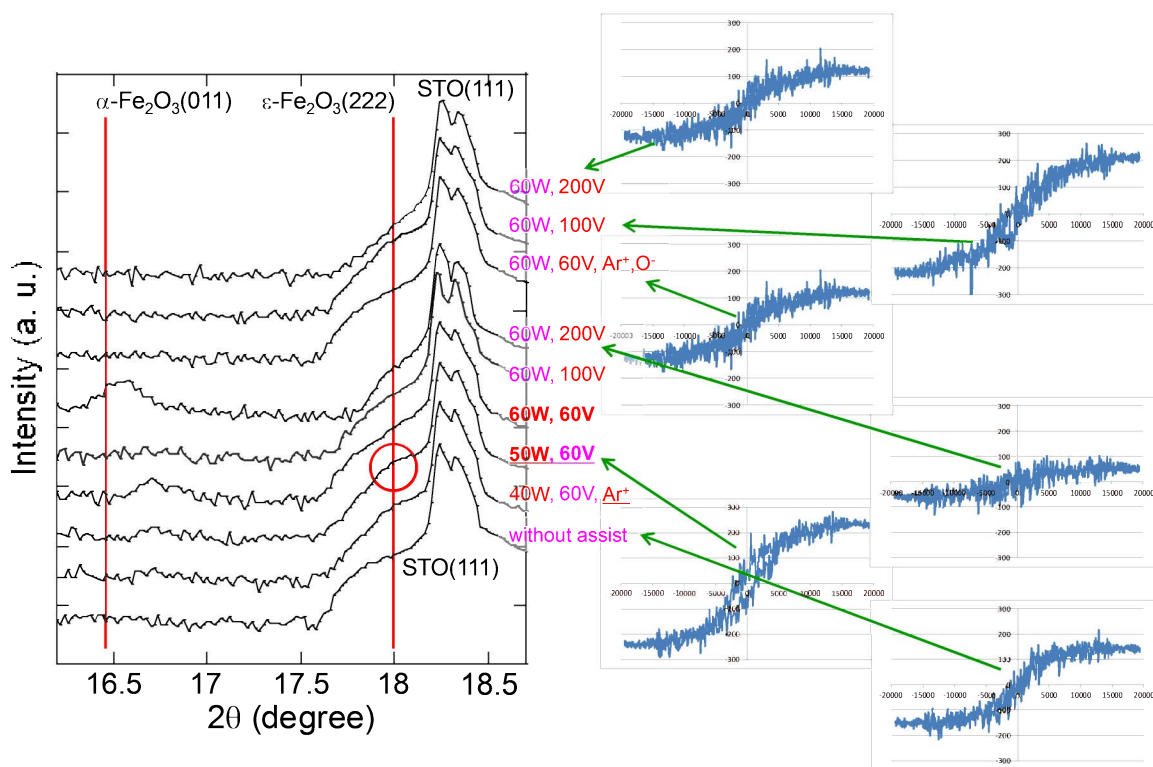


図1 Fe 酸化膜における、アシストイオンの条件を種々変化させた場合における、X線回折プロファイルおよび磁化曲線

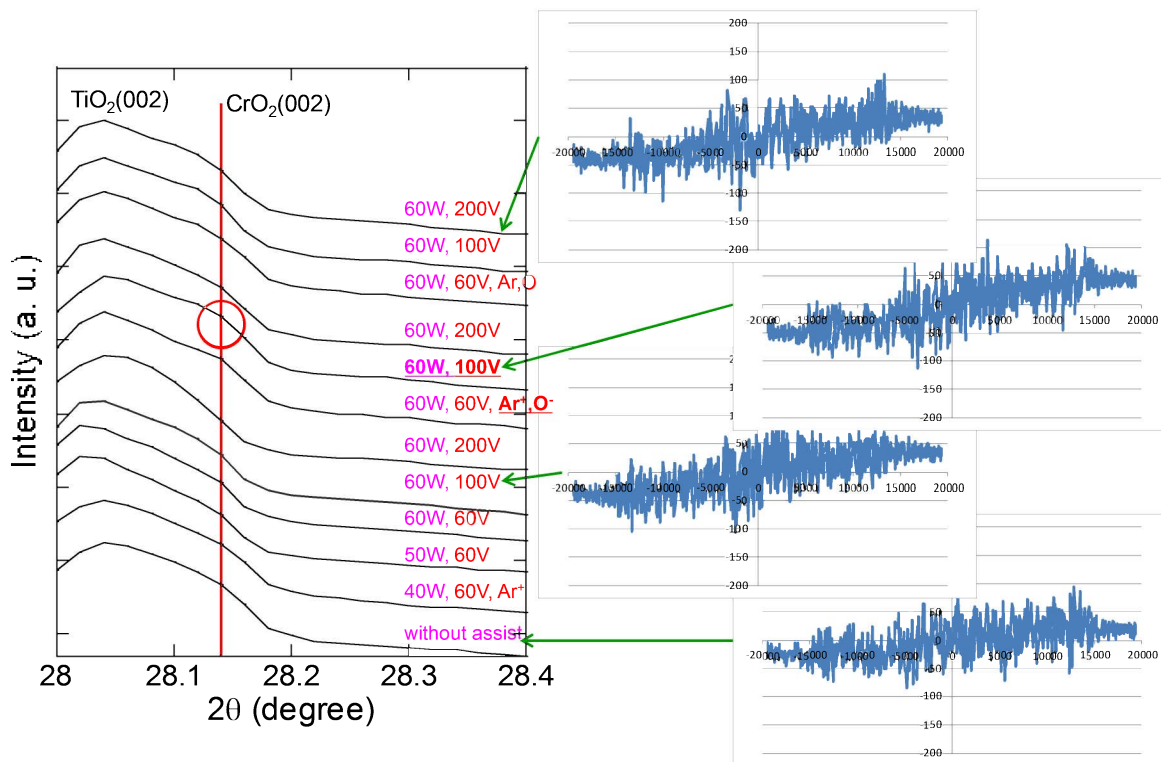


図2 Cr 酸化膜における、アシストイオンの条件を種々変化させた場合における、X線回折プロファイルおよび磁化曲線

(様式 5)

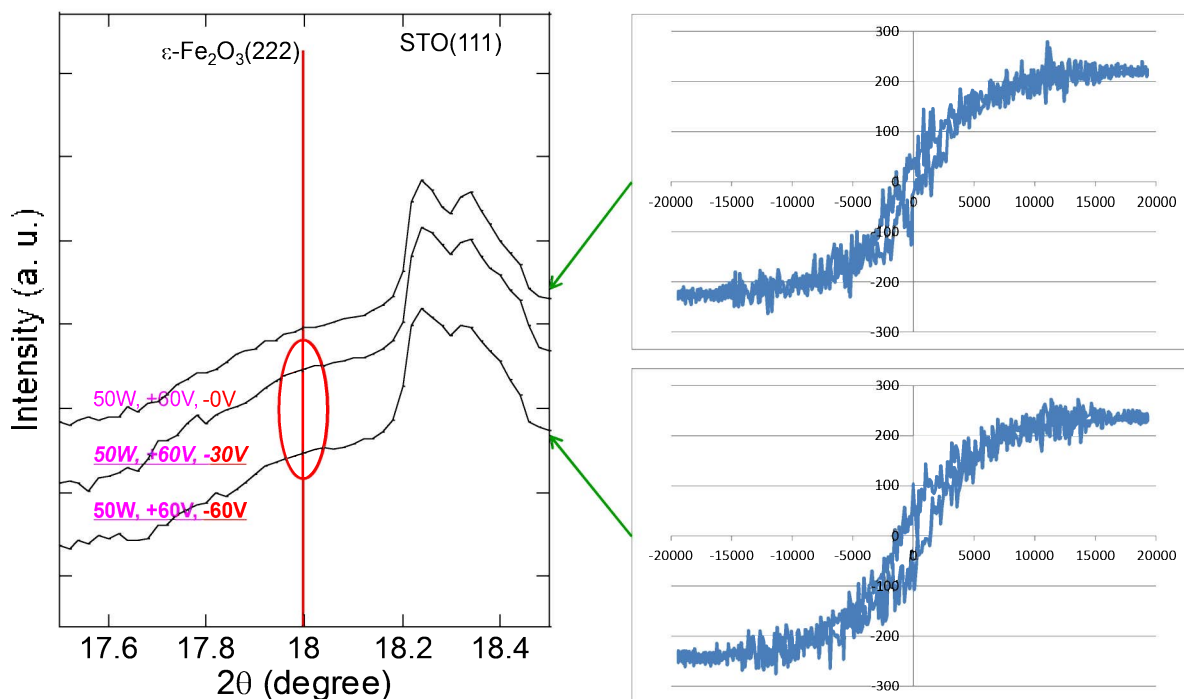


図3 Fe 酸化膜における、アシストイオンの電力および加速電圧を固定し、イオン密度(ビームプロファイル)を変化させた場合における、X線回折プロファイルおよび磁化曲線

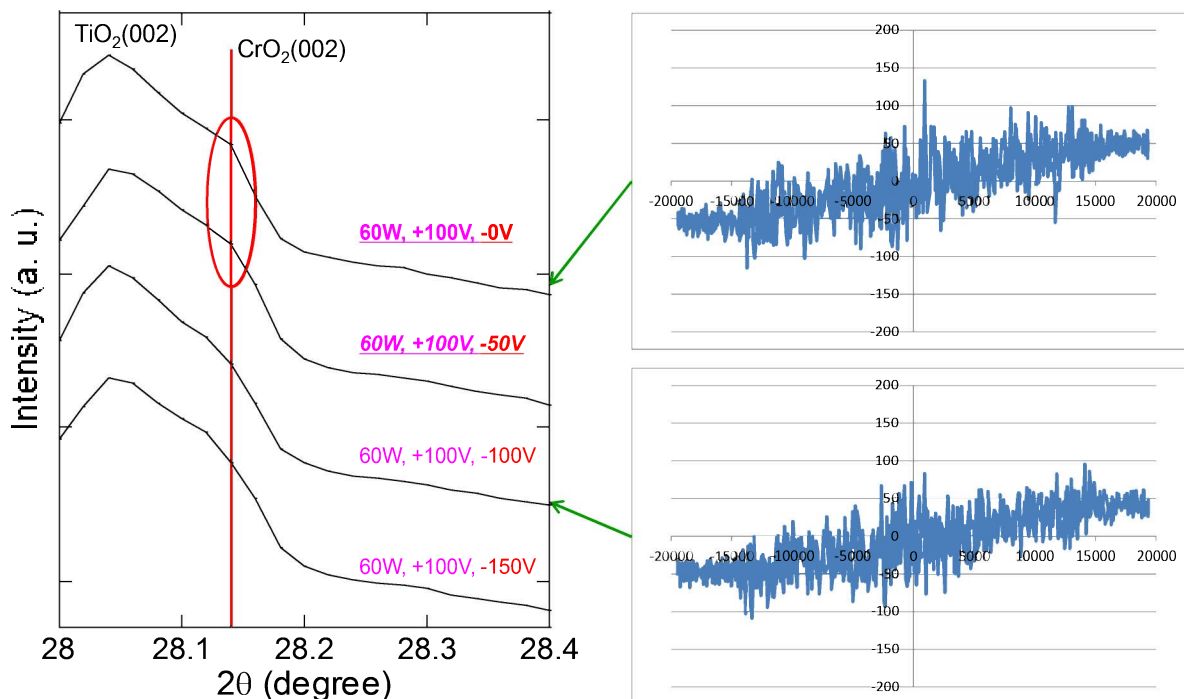


図4 Cr 酸化膜における、アシストイオンの電力および加速電圧を固定し、イオン密度(ビームプロファイル)を変化させた場合における、X線回折プロファイルおよび磁化曲線

(様式 5)

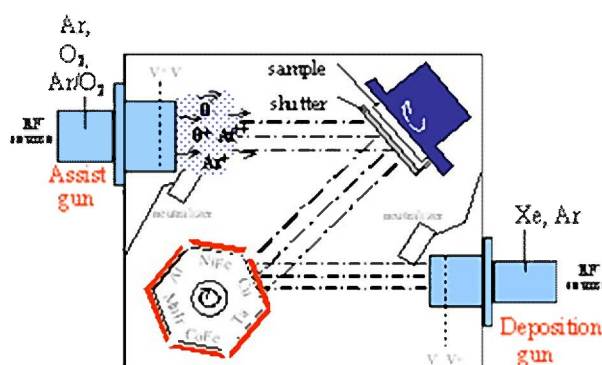
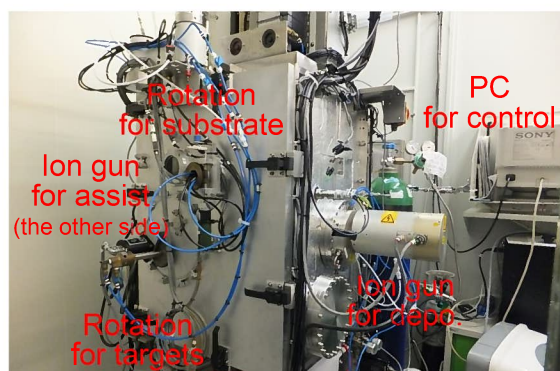
### ○研究期間全般にわたる感想

INESC Microsistemas e Nanotecnologias (INESC-MN) は、ポルトガルの首都リスボン市に実験施設を持つ、私立研究所です。磁気デバイス研究グループ、微小電気機械システム研究グループ、生体医療用センサー研究グループ、有機エレクトロニクス研究グループ、の4つの研究グループから構成されており、物性物理等の基礎研究よりもデバイス創製等の応用研究に力を注いでいます。そのため、様々な方式の薄膜作製装置や薄膜素子形成装置があります。報告者が所属したグループは磁気デバイス研究グループであり、そのグループ長は、INESC-MNの機関長でもある Paulo Freitas (パウロ フレイタス) です。本研究所には、機関長以下、各グループ長、上級研究員、研究員、技術職員、博士研究員 (ポスドク)、大学院生 (博士および修士課程: リスボン大学の工学系の研究科に在籍)、交換協力研究員、客員研究員、全部で50~60人が所属しています。尚、機関長、グループ長、上級研究員は、リスボン大学の教員を兼務しています。大学院生は、ヨーロッパやアジアの各国から集まっており、多くの企業(ヨーロッパ内外)と共同研究していることから、外国人訪問者や研究者の出入りが多く、非常に国際色が豊かです。



INESC-MNが入居している建物。2階に居室、地下に実験室がある。3階以上は、ベンチャー企業等が入居している。

実験に用いた薄膜作製装置 (アシストガン付きイオンビームスパッタリング装置) の写真および模式図を示します。「研究概要」にも関連することを記しましたが、原子が規則的に配列した構造を有する薄膜を作製するためには、成長中の薄膜に適切なエネルギーを付与して原子の基板上での運動 (マイグレーション) を促進させる必要があります。成長中の薄膜に種々のアシストイオンビームを様々な条件で照射できる本装置が適していると言えます。イオンビームスパッタリング装置は国内にも多数有りますが、アシストガンを装備していない装置がほとんどであり、尚且つ本装置ほどアシストイオンビームの条件を変えることができる装置はありません。



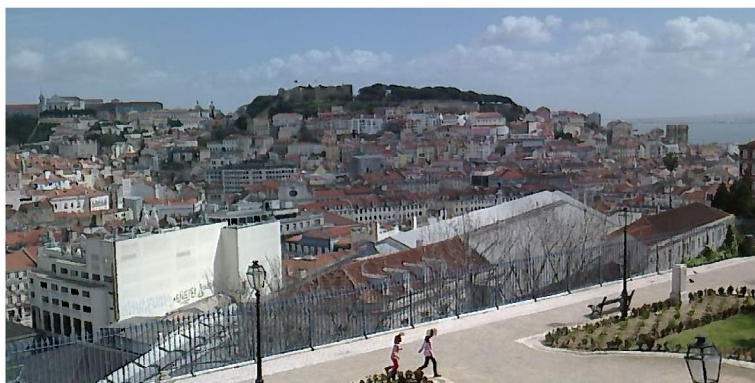
実験に用いた薄膜作製装置 (アシストガン付きイオンビームスパッタリング装置) の写真と模式図

(様式 5)

私が秋田大学で普段使用している薄膜作製装置とは異なる方式でかつ多機能な薄膜作製装置を使用する機会に恵まれたことで、高品質薄膜の作製および薄膜微細構造の制御において、新しい知見を得ることができました。現装置の改造や機能強化をする場合の参考にするなど、今後の研究活動に活かしていきたいと思っております。

実験結果や実験計画に関するディスカッションは、グループの上級研究員が中心になって行う週に1度のミーティングと、兼務しているリスボン大学の施設に居ることが多い、2週間に1度程度姿を見せる機関長との不定期かつ突然のディスカッションがありました。前者では、パワーポイントを使用する発表形式で報告を行っていました。後者では、これまでのデータの概要（過去の結果を思い出してもらうため）、新しいデータの結論とその結論を得た証拠となる代表的な実験データ、それを踏まえた今後の予定、を手短かに述べるが必要でした。後者のディスカッションを通して、いかなる時も、端的かつ正確に、客観的情報と主張を英語で伝える、という技術を身につける大変良い機会となりました。

東の果てに位置する日本にとって、西の果てに位置するポルトガルは、あまりなじみが無い国だと思いますので、簡単にリスボンの街並みを紹介いたします。アップダウンが多くかつ入り組んだ迷路のような狭い路地の両脇にオレンジ色の屋根の家が所狭しと並んでいます。その写真を示します。数年前、或る消臭剤のテレビコマーシャルで、この写真の風景を背景に男の子が歌っていました。映画「魔女の宅急便」のモデルになった都市のひとつ、とも言われているそうです。



滞在が終わりに近づいた6月半ば、欧州サッカー連盟(UEFA)主催の欧州選手権(EURO 2016)が始まりました。通勤途中に通る大きな公園がパブリックビューイングの会場になりました。帰宅中に撮ったナイター試合開始直前(午後7時過ぎごろ、サマータイム等の関係で午後9時まで明るい。)の写真です。試合に勝った直後は、パブリックビューイング周辺のみならず市内全域で、喜びのパフォーマンス(車はクラクションを鳴らしながら通行、人は車両と共存しながら車道を行進する、など。)が行われ、ヨーロッパのサッカー文化を体感しました。結局、ポルトガル代表は、この大会を見事に制し、国内は大変な盛り上がりだったそうです(準々決勝の日に帰国したため、優勝およびその喜びぶりを見届けることは、残念ながらできませんでした。)

