談話室 (海外研究体験記)

CERN での 10 か月

谷 本 育 律

高エネルギー加速器研究機構 (KEK)
☎ 305-0801 茨城県つくば市大穂
1-1

(2015 年 1 月 16 日受理)

Ten Months at CERN

Yasunori TANIMOTO

High Energy Accelerator Research Organization (KEK),
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

(Received January 16, 2015)

1. は じ め に

総合研究大学院大学の若手教員海外派遣事業により、2010 年 11 月から 2011 年 8 月までの 10 か月間、ジュネーブ郊外の欧州原子核研究機構 (CERN) に滞在させていただいた。

当時 CERN では、高エネルギーの陽子衝突型加速器 Large Hadron Collider (LHC) における素粒子実験のデータ取得が軌道に乗りはじめ、新粒子の発見に注目が集まりつつある時期であった。ご存じのとおり、CERN は 2012 年 7 月にそのデータの中から「新しい粒子を発見した」と発表し、翌 2013 年にピーター・ヒッグス氏らがノーベル物理学賞を受賞した。私個人の立場からすれば、残念ながら滞在期間中に現場の歓喜を経験することはできなかったが、偉大な業績をより身近に感じることができ、得がたい経験をさせてもらえたと思っている。

一方、私の専門は加速器本体の真空システムであり、CERN で 1990 年代後期に LHC 加速器に向けて開発された新しい真空技術を実際に開発に携わった研究者から直に習得することが CERN 滞在の目的であった。その新技術は、本来ガス放出源であるビームダクトの内面を真空ポンプとして機能させるという画期的なものである。2010 年当時、すでに欧州では ESRF や SOLEIL, MAX-lab など多くの加速器に応用されて、成果をあげている技術であったが、日本国内において加速器の真空ポンプとして応用された例はなかった。

2. 研 究 生 活

2.1 NEG コーティング

その新技術は「NEG コーティング」と呼ばれ¹⁾、真空ダクト内面に $1\mu\text{m}$ 程度の非蒸発型ゲッター (Non-Evaporable Getter; NEG) 薄膜を DC マグネトロンスパッタリングで生成させる (Fig. 1)。とりわけ加速器のビームダクトのように、排気ポートを設置することが困難な細長いチェンバに対して効果的な真空ポンプとなる。NEG コーティング材として通常用いられるのは TiZrV の合金であり、表面が気体分子で飽和して化学吸着作用が低下した場合でも、 200°C 程度の比較的低温で活性化させることができるように選定された。

活性化後の NEG コーティング表面は、効果的な排気性能に加え、2 次電子放出係数 (Secondary Electron Yield; SEY) が $\delta_{\text{max}} \sim 1.1$ まで下がることが知られている。このため、陽子や陽電子の正電荷ビームを蓄積する加速器でしばしば問題となるビームダクト内の電子雲形成を抑制することができる。LHC の場合、リング周長 27 km のうち約 7 km の直線部分のダクトに NEG コーティングが施されており、陽子ビームの安定な蓄積に大きく寄与している。

NEG コーティング技術は開発元である CERN がパテントを所有しており、ESRF や GSI などの加速器研究所のほか、イタリアのサエスゲッターズ社やドイツ FMB 社も CERN からライセンスを取得している。

Fig. 1. (color online). The author (left), Pedro (middle) and Paul (right), smiling beside the coating device. There were three stations running all the time, either coating NEG or carbon on a vacuum chamber installed in a 7 m long solenoid magnets.

2.2 研究環境

私の配属された真空グループは「Vacuum, Surfaces and Coatings (VSC) Group」という名称で、CERN の様々な加速器の真空システムや表面科学に関する研究開発を行う部門である。VSC グループは五つのセクションで構成され、NEG コーティングに関する研究は主に「Surfaces, Chemistry and Coatings (SCC) Section」が担当している。各セクションのスタッフ数は 10~20 人程度であるが、フェローや学生、私のようなアソシエイトまで含めると全体で 100 人程度になる。世界で最も大きい真空装置である LHC 加速器を建設、運転しているわけであるから、その組織も大規模となるのは当然のことであろう。

また、CERN での研究に携わって強く感じたのは、グループが大規模であることを有効に活用し、個々の研究者が自分の専門分野に集中して研究を行える環境が整備されていたことである。たとえば、コーティングの下準備では、「Chemistry」と呼ばれる部門に真空チェンバの脱脂や化学洗浄を依頼すればよい。また、コーティング表面組成や膜厚、SEY 測定などの表面分析においても、それぞれの測定部門にサンプルを渡せば、数日中に結果を送ってくれる。

私は CERN に滞在するまでスパッタリングの経験はまったく持っておらず、素人の私に基礎から丁寧に教えてくれたのは、ポルトガル人研究者の Pedro Costa Pinto 氏であった。Pedro は実際に NEG コーティングの開発に携わり、その後 1300 本以上の LHC 用ダクトへのコーティング作業を指揮した人物である。Pedro のチームには、イギリス人フェローの Paul Victor Edwards 氏、イタリア人技術者の Luigi Leggiero 氏がいて、互いを尊重し合いながら、非常に良い雰囲気の中で仕事を進めていた。彼らのおかげで、基礎から NEG コーティング技術を習得することができた。

当時 Pedro らは、NEG コーティングに関する研究と並行して、カーボンコーティングに関する研究も精力的に進めていた。その目的は、将来の高ルミノシティ LHC (HL-LHC) でのビーム強度増強の際、前段加速器 SPS での電子雲の問題により HL-LHC へ入射するビームの強度が制限されてしまうのを防ぐためである。SPS 用ビームダクトは設置後に現場での活性化が行えないため、SEY に対する要求を満たすコーティング材としてグラファイトライクカーボンに着目していた²⁾。コーテ

Fig. 2. (color online). The Mont Blanc could be seen from CERN on sunny days.

ィング中の水素を低減することで sp² 結合を優勢にして、より低い SEY を目指していた。

3. お わ り に

10 か月間の CERN 滞在では、公私にわたり多くの貴重な経験をさせていただいた。CERN で習得した成果を帰国後に建設した小型エネルギー回収型線形加速器 (Compact Energy Recovery Linac ; cERL) において国内発の NEG コーティング採用に活かすことができ³⁾、また、KEK における NEG コーティング研究のサポートもいただけたこととなった。さらに、CERN の進める将来計画の真空システム設計に役立てるため、KEK のビームラインを用いて様々なコーティング表面への放射光照射実験を CERN 研究者とともにに行っている。このような技術と人の良好な交流が、CERN 滞在の最大の成果と言っても過言ではないと思う。

私生活において最も印象に残っていることは、アルプスの山々に魅了され (Fig. 2)、週末によくスキーやハイキングに出かけたことである。心の洗われる壮大な山々の景観に加え、実は希少なエーデルワイスを見つけたり、アイベックスやマーモットなどの野生動物に不意に出会える喜びもあった。

文 献

- 1) C. Benvenuti et al. : Vacuum **53**, 219 (1999).
- 2) P.C. Pinto et al. : Proceedings of IPAC2014, p. 2574.
- 3) Y. Tanimoto et al. : Proceedings of IPAC2013, p. 3315.