13-5 軸対称な電場で陽子ビームを広げずに加速する
－J-PARC環状結合構造（ACS）型加速空洞の開発－

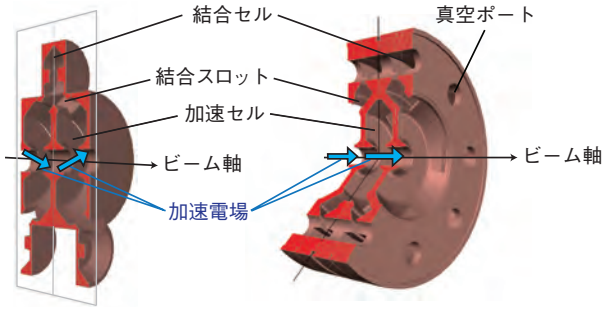

図 13-8　サイドカップル型加速空洞と ACS 型加速空洞
サイドカップル型に比べ、ACS型では、結合セルがリング状に加速セルの周囲に配置されるため、ビーム軸周りの軸対称性に優れています。

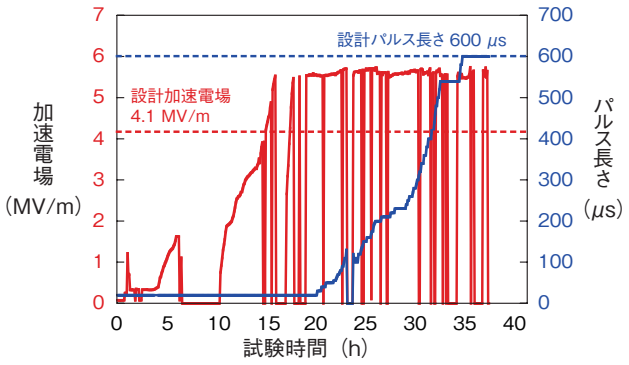

図 13-10　ACS 加速空洞の試験結果
今回の ACS モジュールは 5.3 MV/m（設計加速電場 4.1 MV/m の 1.3 倍），パルス長さ 600 μs，繰り返し 50 Hz での運転性能を確認しました。これは、投入電力で 600 kW に相当します。

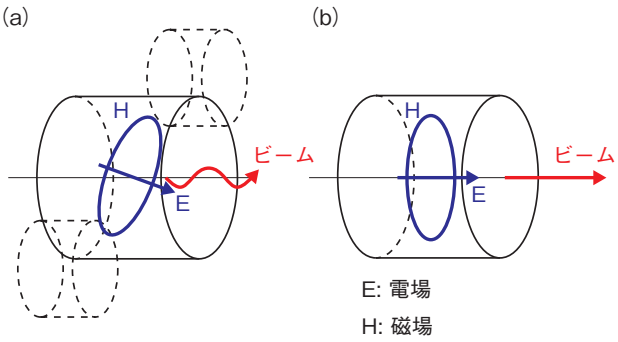

図 13-9　模式図による加速電場の比較（a）サイドカップル型（b）ACS 型
サイドカップル型では結合セルの配置によりビーム軸に垂直な方向の成分（約 1%）が存在するのに対し、ACS 型では軸対称な結合セルにより、ビーム軸に垂直な電場成分がほとんど存在しません。

J-PARC リニアックはイオン源で生成した陽子を 181 MeV まで加速し、後段の Rapid Cycling Synchrotron（RCS）へ 25 Hz で入射する直線状の加速器です。J-PARC では、リニアックから入射した陽子を RCS で更に 3 GeV まで加速し、最終的に物質・生命科学実験施設へ 1 MW という世界最高レベルの大出力ビームでの運転を目指しています。

J-PARC のような大強度陽子加速器では、ビーム損失により生じる機器の放射化が出力強度を制限する最大の要因であり、ビーム損失の低減は重要な問題です。RCS におけるビーム損失の原因のひとつに、ビーム中の陽子が互いに電気的に反発し合うことで生じる空間電荷効果があります。この影響は、リニアックから入射する陽子のエネルギーを高めることにより低減することが可能です。そこで J-PARC では、リニアックから RCS への入射エネルギーを現在の 181 MeV から 400 MeV へ増強することを計画しています。このビーム加速のために開発した加速空洞が環状結合構造（Annular-ring Coupled Structure: ACS）型加速空洞です（図 13-8）。

リニアックの加速空洞は陽子のエネルギーに応じて様々な形を使い分けますが、同じエネルギー領域で従来から用いられてきたサイドカップル型加速空洞と比べて、ACS 型加速空洞は同等の加速効率と電場の安定性を実現し、かつ、加速電場の軸対称性が良く、加速される陽子をビーム軸に垂直な方向へ蹴り出してしまうような加速電場の成分を非常に小さくすることが可能です（図 13-9）。これにより陽子ビームの広がりを抑えることができ、リニアックでのビーム損失を低減しつつ入射エネルギーを増強することが可能となります。

J-PARC 用に新たに設計，製作した ACS 型加速空洞の初号機について大電力試験を行い、設計を満足する加速電場が得られることを確認しました（図 13-10）。

本研究の成果は、リニアックのエネルギー増強及びその後の 1 MW 出力実現に向けた大きな一歩と位置づけられます。現在、25 台の ACS 型加速空洞の製作を完了し、これらの空洞の設置準備を進めているところです。今後、2013 年度には設置を完了し、世界で初めてとなる ACS 型加速空洞によるビーム加速を開始する予定です。

●参考文献
Ao, H. et al., First High-Power Model of the Annular-Ring Coupled Structure for Use in the Japan Proton Accelerator Research Complex Linac, Physical Review Special Topics - Accelerators and Beams, vol.15, issue 1, 2012, p.011001-1-011001-13.