

## 9-9 核融合原型炉早期実現に向けた高性能中性子増倍材の開発 — 3元系先進中性子増倍材の開発研究 —

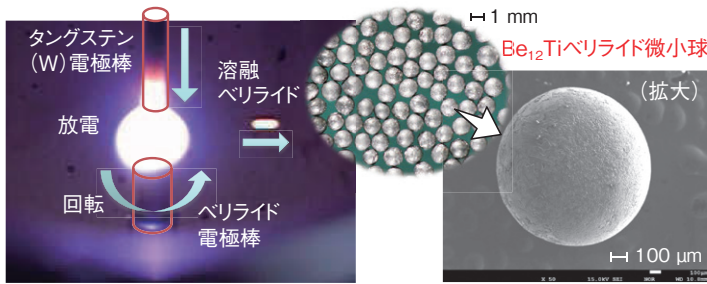


図9-24 回転電極法によるベリライド微小球製造法を確立  
プラズマ焼結製の電極棒を用いて回転電極法を適用し、1 mmの微小球製造に成功しました。

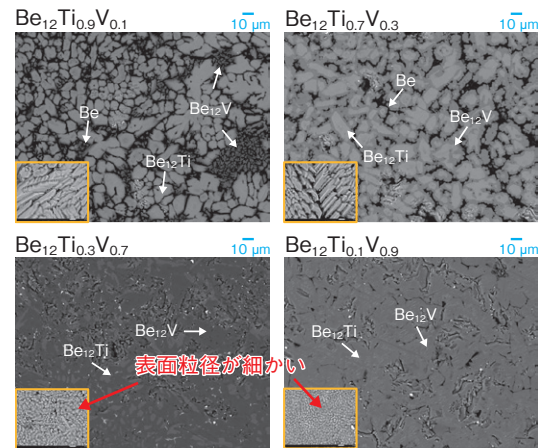


図9-25 3元系ベリライド微小球製造に成功  
 $\text{Be}_{12}\text{Ti}_{1-x}\text{V}_x$ 組成にV含有量を増やし、3元系の微小球製造を実施しました。

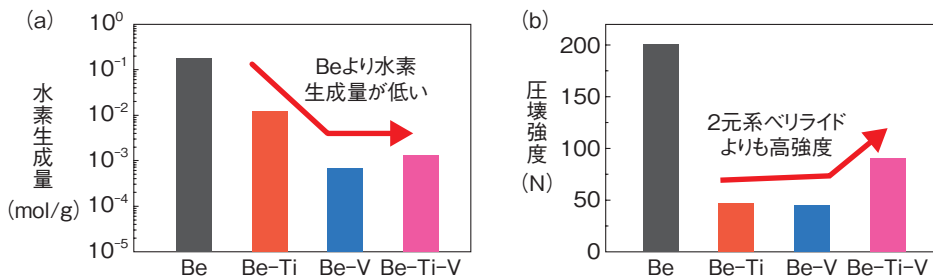


図9-26 各試料の特性比較  
1000 °Cにおける水蒸気との反応による(a)水素生成量及び(b)圧壊強度を示します。

核融合炉燃料のトリチウムは核融合反応で生じる中性子をリチウム (Li) に当てて生産します。このとき、より効率良く燃料を生産するために中性子の数を増やす中性子増倍材が不可欠です。候補材であるベリリウム (Be) は、冷却水漏れ時に水と接触して生じる水素が安全上問題になるなどの欠点があることから、より安定な Be 金属間化合物 (ベリライド) の製造技術開発を BA 活動の一環として進めています。

Be 原料は表面が酸化しやすいため、従来の粉末冶金法では脆くて加工が困難なベリライドしか得られませんでした。そこで、原料粉末表面を放電で清浄にした後合成するプラズマ焼結法に着目し、合成条件の最適化を図った結果、加工性や耐熱衝撃性に優れ、造粒原料として最適な棒状のベリライド製造に成功しました。そして、このベリライドを原料とする電極棒を用いた回転電極法によって核融合炉で使用する目標形状である直径 1 mm のベリライド微小球製造に世界で初めて成功し、製造基盤技術を確認しました (図 9-24)。ベリライドは、Be に比べて融点が高く、高温でも安定であることから、先進中性子増倍材として有望である結果が得られています。

しかしながら、当初  $\text{Be}_{12}\text{Ti}$  組成の微小球を製造しましたが、造粒の際の再熔融時に組成が変化し、Be 相が

残り、単相化のための熱処理を要するなどの問題がありました。そこで、次に再熔融時に組成が変化しないベリライドとして  $\text{Be}_{12}\text{V}$  を選定して試作した結果、 $\text{Be}_{12}\text{V}$  単相微小球を直接造粒することに成功しました。

中性子増倍材の球は大量に装荷されることから、より高い強度が要求されますが、 $\text{Be}_{12}\text{V}$  微小球の場合は球の圧壊強度の低下が認められました。この解決策として Be-Ti-V の 3 元系ベリライド微小球の製造技術開発に着手し、この圧壊強度を 2 元系と比べて約 2 倍向上することに成功しました。具体的には、組成比をパラメータにした造粒試験の結果、チタン (Ti) の割合が大きいと Be 相が現れてしまいましたが、バナジウム (V) 量を多く、すなわち Ti と V の割合を、3 対 7 から 1 対 9 と大きくすることによって、細かい粒径で形成されつつ、Be 相を含まず、均質化処理が不要な 3 元系ベリライド微小球 ( $\text{Be}_{12}\text{Ti}_{0.3}\text{V}_{0.7}$  及び  $\text{Be}_{12}\text{Ti}_{0.1}\text{V}_{0.9}$ ; 図 9-25) を直接造粒できることを明らかにしました。

そして、水素生成量及び圧壊強度を比較した結果、3 元系ベリライドが最も低水素生成を示す V 系ベリライドと同等 (図 9-26 (a)) で、高圧壊強度 (図 9-26 (b)) であることが明らかになり、優れた性能を有する新たな 3 元系ベリライド微小球の製造に世界で初めて成功しました。

### ●参考文献

Kim, J. et al., Synthesis and Characteristics of Ternary Be-Ti-V Beryllide Pebbles as Advanced Neutron Multipliers, Fusion Engineering and Design, vols.109-111, part B, 2016, p.1764-1768.