

UME-239	資料の出典（資料名、著者、巻、号、頁など） 第 59 回材料と環境 佐藤智徳 他 B-113 (P177～) 2012 年		本資料の 作成者名 梅村文夫
整理番号	資料のタイトル 加速器で用いられている金属磁性体の冷却水による腐食解析		
失敗事例のタイトル 金属銅の析出による絶縁性能の低下			一次原因（材料要素） 腐食
機種 陽子加速器施設	部品 銅コイル、磁性体コア	材料 銅（冷却水用コイル） 磁性体コア（備考①）	概略の寸法 コア表面断面長さ：約 300 mm
損傷発生時の状況 <p>大強度陽子加速施設 J-PARC において、加速電場を生成する磁性体コアに、冷却水による腐食が発生し、加速器の性能が低下した。本施設は、400MeV 線形加速器、3 GeV シンクロトロン、50 GeV シンクロトロンからなる加速設備である。加速空洞内には加速電場を生成するために金属磁性体コアが設置されており、この磁性体コアに 1.7MHz、2～7kV の高周波電場を与え、高い加速電場を生成している。磁性体コアは電場の印加により発熱するため、冷却水で直接冷却されている。磁性体コア冷却部のタンクはステンレス製であり、電磁石部の冷却ラインは銅製となっている。冷却水の温度は入口で約 30℃、出口で約 35℃であった。</p>			
調査内容とその結果 <p>磁性体コアは、軟磁性材料ファインメット（備考①）と絶縁 SiO₂ からなるリボンに、樹脂含浸したもので、ファインメット、SiO₂、樹脂の積層構造になっている。磁性体コアの冷却ラインは電磁石の冷却も兼ねている。</p> <p>腐食の派生した磁性体コアの腐食面について SEM-EDX 分析を行った結果、Cu の存在が確認された。また、腐食生成物の蛍光 X 線分析を行った結果、いずれの個所（赤褐色錆、黒褐色錆、激しい腐食部、球状物質）でも Cu が検出された。</p>			
損傷発生のシナリオ <p>電磁石部の冷却ラインの銅のコイルから Cu イオンが溶出し、次の反応により磁性体部で金属 Cu が析出し、磁性体の腐食が加速された。</p> $4\text{Cu}(\text{OH})_2 + 3\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4 + 4\text{Cu} + 4\text{H}_2\text{O}$ <p>金属銅の析出のため絶縁性能が低下し、加速器の性能が低下した。</p> <p>なお、銅を含まない脱気純水中で磁性体コアについて腐食試験を行った。温度はコア表面温度を模擬し 80℃として 900 時間行った。その結果、腐食生成物は主として Fe₃O₄ であったが、一部が Cu²⁺ と置換している酸化物が同定された。したがって、磁性体コア材料内に含まれる Cu の自己腐食も発生する可能性が確認された。</p>			
対策（損傷発生時にとられた対策あるいは現在とるべきと考えられる対策） <p>磁性体の冷却水系と電磁石の冷却水系とを切り離し、電磁石系の銅コイルからの Cu イオンが、磁性体コア系に搬入しないようにする。</p> <p>また、磁性体中に含まれる銅の腐食対策としては、磁性体表面を有機樹脂被覆により防食する。</p>			
教訓 <p>銅イオンは鉄の腐食を加速するとともに、金属銅として析出し、絶縁性能を低下させる。</p>			
備考 <p>①軟磁性材料ファインメット：73.5Fe-13.5Si-9B-3Nb-1Cu (mass%)</p>			
主要因		教訓とすべき対象者	
チェックボックス		チェックボックス	
	当時の技術レベルでは不可抗力	<input type="radio"/>	設計者
	情報伝達不備・不足	<input type="radio"/>	製作者 / 建設担当者
<input type="radio"/>	担当者不勉強/教育不十分/意識不測		検査者
	指示ミス	<input type="radio"/>	使用者
	うっかり、ぼんやり		メンテナンス者
	その他		その他

2 ページ以降に写真、図表等を添付してください