

研究課題名

電子ビーム積層造形法により製造されたチタン材を出発材とした塑性加工・熱処理プロセス法による組織制御プロセス設計

研究代表者名

香川大学・工学部・松本洋明

研究分担者名

香川大学・工学部・田中譲(学生)、内藤大樹(学生)
東北大学・金属材料研究所・山中謙太、小泉雄一郎、千葉晶彦

1. はじめに

電子ビーム積層造形 (EBM) 法とは、CAD データに基づいて電子ビームを走査し、金属粉末を選択的に溶融・凝固させた層を繰り返し積層させて三次元構造体を製作する加工法であり、新しいニアネットシェイプ加工技術として有望視されている。純 Ti は比強度、耐食性に優れた金属であり、建材や民生用品に多く用いられている。しかし、ほとんどの純 Ti 製品は塑性加工に供せられ、特に薄板では圧延加工により形成する集合組織に起因した強い機械的異方性が成形性を悪くする要因となっている。そこで本研究では EBM 法により直接製造した純 Ti 板材の組織形態・集合組織および機械的特性を評価し、既存の冷間圧延により作成した薄板と比較することで EBM 法の新しい組織制御・加工プロセスとしての可能性について検討した。

2. 研究経過

ASTM Gr. 1 に準拠した純 Ti 原料粉末を用いて EBM 法により純 Ti 板材(高さ 30mm、幅 4mm、長さ 40mm)を高さと長さで構成される面が造形方向に対して 90°となるように作成した。組織・構成相は SEM-EBSD、XRD を用いて調査し、機械的特性は引張試験により評価した。冷間圧延の圧下率は 0~50%とし、熱処理は β 変態点以下の温度で保持時間を種々変化させて行った。

3. 研究成果

EBSD による組織観察の結果、as-build 材は従来の冷間圧延材(TD-split 配向を有す)と比較してランダムな結晶配向を呈している。また、平均粒径は約 40 μ m の組織形態を示す。(Fig. 1)。as-build 材の強度特性は従来の冷間圧延・熱処理材に比べ、高強度特性(引張強度：450MPa)を示し、更に 30%以上の良好な引張延性を維持している。As-build 材の冷間圧延過程では、圧延率 30%まではランダム配向を維持するが、50%以降では明らかな T-split の集合組織を呈すようになる。これは変形初期では as-build ままの高いランダム配向度の影響と活発な双晶形成の活動で、ランダム配向を維持するが、圧延率の増加に伴い、結晶粒が微細化され、双晶の活動頻度が下がり、逆に転位すべりがより活動するため、結晶回転の影響が強くなり、強い T-split 配向を呈すようになる。この結果は工業的にも興味深い点を指摘しており、つまりはランダム配向を出発組織とした純チタンの加工では、そのランダム配向を維持するには加工度を相当ひずみで約 0.41 までに制限する必要があることを示唆している。

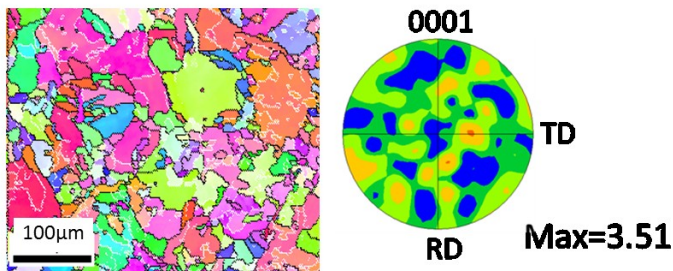


Fig.1 純Ti as-build材のEBSDによる結晶方位マップと(0001)極点図

4. まとめ

本研究では EBM 法により直接製造した純 Ti 板材の組織形態・集合組織および機械的特性を評価し、また冷間圧延を施した組織・集合組織の評価を行った。as-build ままで、平均径 40 μ m の等軸組織を示し、ランダムな結晶配向を呈していた。この as-build 材は従来材(塑性加工・熱処理材)と比較しても優れた強度・延性特性を示し、EBM はネットシェイプ加工を実現するだけでなく、組織制御手法としても有効なプロセスであることが分かる。更に、この as-build 材の圧延加工にて、ランダム配向から相当ひずみで約 0.41(圧延率 30%)以上の加工から強い T-split 結晶配向を呈す事が明らかとなり、活動する変形機構(転位すべり、双晶)の兼ね合いが影響しているが、今後はこの変形機構をより詳細に評価する必要がある。

研究課題名

新規開発シンチレータの高感度な中性子検出器への応用

研究代表者名

広島大学・理学研究科・高橋弘充

1. はじめに

我々（広島大学と東北大学の吉川研究室、株式会社トクヤマからなる研究チーム）は、中性子に感度の高いシンチレータ結晶 LiCaAlF_6 (LiCAF)を開発している。本課題ではこの LiCAF を実際の検出器として応用し、北極圏上空 30-40km での大気中性子フラックスの計測に成功した。

世界中において、従来は中性子検出器としてヘリウム 3 ガスを利用した検出器が主流であったが、最大の供給源であった米国がヘリウム 3 の生産を中止したことにより今後ヘリウム 3 の枯渇が予想されており、ヘリウム 3 ガスに代わる物質を利用した中性子検出器の開発に注目が集まっている。こうした中、我々は熱中性子と核捕獲反応を起こす反応断面積が大きいリチウム 6 を含んだ LiCAF 結晶シンチレータの開発に成功した。 LiCAF は固体であることからガスに比べて密度が高いため、コンパクトでありながら高感度な検出器を作ることができる。また潮解性もなく安定した素材である。 LiCAF だけでは中性子だけでなく荷電粒子や X 線・ガンマ線にも反応するが、周囲を BGO シンチレータで覆うフォスウィッチ構造とすることで、中性子のみを精度よく検出することもできる。

2. 研究経過

本研究では、以下の 2 つの目的を達成した。(1) LiCAF と BGO シンチレータを組み合わせたフォスウィッチ検出器を製作し、高感度な中性子計測を行えるようにすること、(2) 開発した検出器を気球実験に搭載して、北極圏の上空での大気中性子のフラックスをリアルタイムで精度よく計測すること。

(1)のため、5mm 厚の LiCAF の上下を 5cm 厚の BGO 2 個で覆い、そのシンチレーション光を 1 本の光電子増倍管で読み出すフォスウィッチ検出器、およびその読み出し回路を製作した。さらに(2)として、(1)の検出器を搭載した PoGOLino 気球実験をスウェーデン・キルナ市にある Esrange 気球実験場から 2013 年 3 月に放球し、30km 上空までの大気中性子のフラックスを実測した。2013 年 7 月にも、同型の検出器を PoGOLite 気球実験に搭載し、スウェーデンからグリーンランドまでの上空 40km での大気中性子フラックスを 3 日間にわたって実測することができた。今年度は PoGOLino の観測結果を、以下のように論文にまとめた。また BGO に代わるガンマ線に感度の高い新規シンチレータを模索する中で、放射線計測の技術を利用した CsI(Tl)と MPPC 検出器を利用した安価で携帯可能なガンマ線スペクトロメーターを開発し、吉川研究室の協力のもと福島県内での放射線環境を計測した。

3. 研究成果 (Kole et al. 2015 NIMA, 770, 68-75)

図 1 は、PoGOLino 気球実験に搭載された 2 台の $\text{LiCAF}+\text{BGO}$ フォスウィッチ検出器で検出した、地上とスウェーデン上空 30km での中性子とガンマ線・宇宙線のエネルギースペクトルである。2 台のうち 1 台は、中性子を熱化させる 7cm 厚のポリエチレン内部に入れられており、高速中性子が存在すると熱化され LiCAF と核捕獲反応を起こしピークとなって検出される。一方、もう 1 台はシールドがなく、もともと周囲に存在している熱中性子が検出される。

この結果から、地上ではほとんど熱中性子も高速中性子も存在しない（青色の LiCAF で検出されたイベントがほとんどない）が、上空では高速中性子が存在し、それらが検出されている（ポリエチレンで囲まれた検出器にピークがある）。また赤色の BGO のスペクトルに着目すると、地上ではカリウム 40 による環境ガンマ線が存在するが、上空では電子陽電子対消滅による 511keV と、荷電粒子が大きなエネルギーを落とすことにより波高値が飽和したイベントが大量に検出されている。

このエネルギースペクトルを 5 分積分で解析し、検出した中性子イベント数を高度に対してプロットしたのが図 2 である。上空 15km ほどにある Pfozter 最大でイベントレートが最大になる振る舞いが捉えられている。この 2 台の検出器の振る舞いをシミュレーションで再現することで、北極圏上空での中性子のエネルギースペクトルとフラックスを観測データに基づいて世界で初めて推定することに成功した。

4. まとめ

本研究を通じて $\text{LiCAF}+\text{BGO}$ フォスウィッチ検出器を製作し、PoGOLino および PoGOLite 気球実験に搭載して、実際に荷電粒子やガンマ線のフラックスが高い環境下においても中性子を高感度で計測できることを明らかにした。この検出器は固体シンチレータを利用しており反応確率も高いため、真空、低温、重量が限られた環境下での利用が見込まれる。

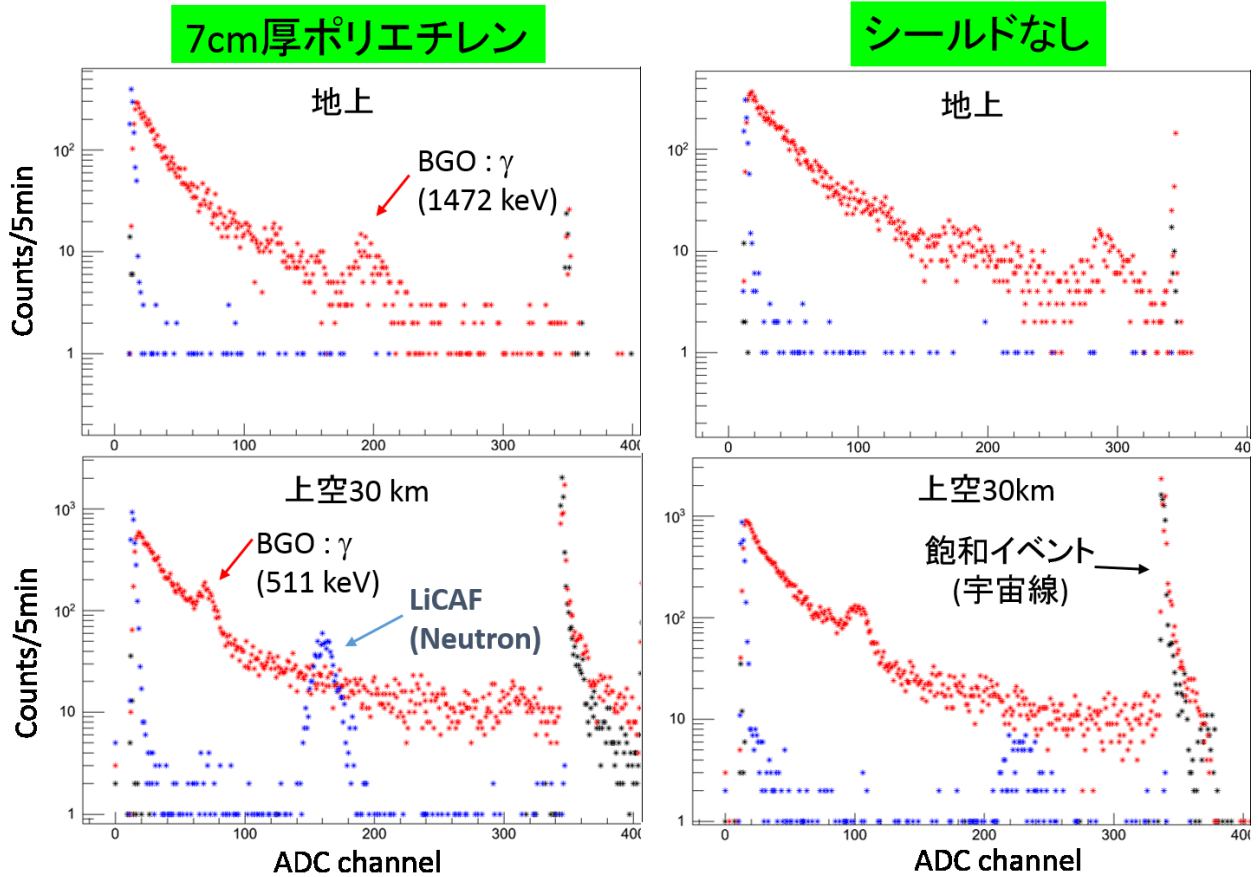


図 1 : PoGOLino 気球実験で検出したエネルギースペクトル。青 : LiCAF で検出されたイベントで、おもに中性子に感度を持つ。赤 : BGO イベントで、ガンマ線と宇宙線に感度を持つ。左側 : 7cm 厚のポリエチレンに覆われており、高速中性子が熱化されて検出される。右側 : ポリエチレンシールドがなく、もともと存在していた熱中性子が検出される。上下は、地上での測定と、上空 30km のフライト中の測定である。

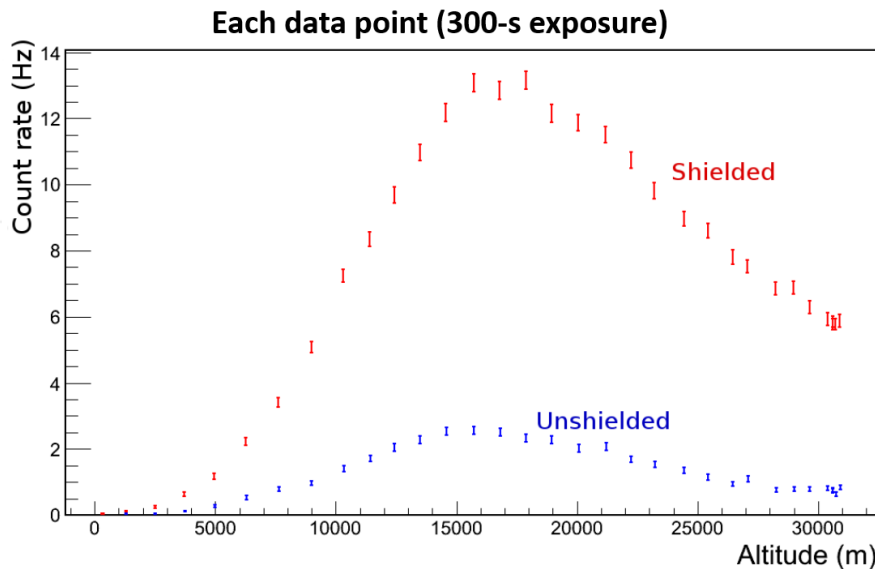


図 2 : PoGOLino 気球実験により、ポリエチレンシールドあり (赤) なし (青) の 2 台の検出器で観測された LiCAF 中性子イベントのカウントレート。地上から上空 30km までを、1 点は 5 分間の積分時間でプロットしている。