研究経過報告書

2025 年 9 月 14 日

研　究　員 (留学者)	所属：理工学部　職：准教授　氏名：モフィディタバタバイ　ハメッド
派 遣 期 間	2024年　9月　1日　～　2025年　8月　31日
研究主題等	研究課題: (1)　摩擦攪拌プロセス（FSP）を用いたSLM造形Ti-6Al-4V合金の表面組織改質 (2)　選択的レーザ溶融（SLM）法による造形条件の最適化
報告事項	**【研究活動の概要】** 本研究は，金属積層造形（3Dプリント）の代表的手法であるSelective Laser Melting（SLM）により作製したTi-6Al-4V合金の機械的特性改善を目的として，（1）摩擦攪拌プロセス（FSP）による表面改質，（2）造形エネルギー密度と気孔率・表面粗さの関係（Cube 36実験）の二つのテーマを軸に遂行した．在外研究中は，ADaPT研究所の最新設備と国際的研究体制を活用し，実験研究と研究交流を行った． **【研究内容および成果】** (1)　FSPによる表面改質研究：本研究は，SLMで造形したTi-6Al-4V合金にFSPを適用し，ビルド方向依存性を系統的に評価した．FSPにより組織は微細化し，強度は最大16％向上したが延性は低下した．結果として，FSPは強度向上と異方性低減に有効であることが確認された． (2)　Cube36実験による造形条件最適化：ハッチ間隔とレーザ照射時間を系統的に組み合わせ36条件でキューブ試験片を造形し，気孔率と表面粗さを評価した．その結果，エネルギー密度の中間域に最適ウィンドウが存在し，高密度かつ良好な表面品質が得られることを確認した．一方，同一エネルギー密度でもパラメータ組合せにより挙動が異なることから，造形条件最適化の指針を得た． **【国際共同研究と交流】** ADaPT所長Prof. Stefanie Feih，材料工学専門のProf. Shoujin Sunをはじめ，技術スタッフAntonio Grimm，Kanau John Kanahの支援を受け，研究を円滑に遂行できた．さらに，現地の教職員および

	学生との研究ディスカッションやワークショップ参加を通じて国際的な研究ネットワークを構築した. **【今後の展望】** 本研究は，金属3Dプリント材の性能向上策を検討するだけでなく，オーストラリアの最先端研究環境において他分野研究者と交流する貴重な経験となった．得られた成果は今後の論文発表につながるとともに，研究者としての国際的視野の拡大にも大きく寄与した．今後は，今回得られた成果を基にSLM造形Ti-6Al-4V合金のFSP条件最適化や機械的特性（特に疲労特性）の詳細評価を進め，国際誌への論文投稿を計画している．また，ADaPTとの連携を基盤に，国士舘大学からの学生派遣プログラムを整備し，先端研究環境での実習や国際交流を推進する．これにより，研究成果の発展のみならず，本学学生のグローバル人材育成にもつなげていきたい. このような貴重な研究の機会を賜りました理事長ならびに学長をはじめ，理工学部の先生方，学部および学術研究支援課のスタッフの皆様に心より感謝申し上げます．在外研究で得た経験を，教育と研究にしっかりと活かしてまいりたいと存じます. **【添付種類】** オーストラリア・グリフィス大学ADaPTにおける研究・交流報告書

オーストラリア・グリフィス大学 ADaPT における研究・交流報告書

国士舘大学 理工学部機械工学系

モフィディタバタバイ　ハメッド

研究課題:

(1) 摩擦攪拌プロセス（FSP）を用いた SLM 造形 Ti-6Al-4V 合金の表面組織改質

(2) 選択的レーザ溶融（SLM）法による造形条件の最適化

滞在期間: 2024 年 9 月 1 日～2025 年 8 月 31 日
滞在機関: グリフィス大学　ゴールドコーストキャンパス

概要

本報告は，在外研究としてグリフィス大学 ADaPT に 1 年間滞在し，金属 3D プリントに関する研究活動と学術交流を行った内容をまとめたものである．研究活動としては，金属積層造形における造形条件と品質の関係を体系的に検討するプロジェクトと，表面改質技術を応用した後処理手法の検討という二つのテーマに取り組んだ．いずれも造形品質の向上や機械的特性の改善を目指すものであり，現地の研究者との共同作業を通じて進められた．また，ADaPT の高度な研究設備を活用するとともに，研究者や学生との交流を通じて国際的な視野を広げる貴重な機会となった．本報告書では，在外研究の背景と目的，実施した研究活動の概要，滞在先の紹介，国際交流の経験，そして今後の連携と展望について述べる．なお，本報告書では，個別の実験条件や詳細な結果の記載は省略し，研究活動の概要と国際交流の成果を中心にまとめる．

目次

概要……i

1. 在外研究の背景と目的 ……1

2. 研究内容……2

2.1 FSP を用いた SLM 造形 Ti-6Al-4V 合金の表面組織改質……2

2.2 選択的レーザ溶融（SLM）法による造形条件の最適化……3

3. 滞在先と研究環境……5

3.1 グリフィス大学……5

3.1.1 大学基本情報 ……5

3.1.2 ゴールドコーストキャンパス……7

3.2 グリフィス大学 ADaPT 研究所……9

3.3 グリフィス大学受け入れ教員とスタッフ（共同研究者）……12

4. 4　国際交流の経験と今後の連携……13

5. まとめ……14

謝辞……14

参考文献……15

1. 在外研究の背景と目的

Ti–6Al–4V 合金（いわゆる Ti64 合金）は，比強度に優れ耐食性も高いため航空宇宙や生体インプラント分野で広く用いられている重要な材料である．一方，Ti–6Al–4V 合金は難加工材でもあり，従来の切削加工や鋳造では成形が困難な形状も多い．この課題に対し，近年注目されているのが金属粉末床融合法による積層造形技術である選択的レーザ溶融（Selective Laser Melting, SLM）である．SLM 法を用いれば複雑形状の部品を直接造形でき，材料歩留まりの向上や設計自由度の飛躍的拡大が期待できる．ただし，SLM 法は実用化が進んでいる一方で，解決すべき課題もなお残されている．急速凝固により生成する微細組織はマルテンサイト相（α’相）主体となり，高強度である反面，延性と靭性が低く脆い傾向を示す．実際，SLM で作製した Ti–6Al–4V 試験片の引張強度は 1100 MPa 級と鋳造材を上回る一方，破断時伸びは 4%程度と低く，インプラント材基準を満たさないことが報告されている[1]．この低延性の原因は，積層造形特有の柱状晶組織および α’マルテンサイトによるものであり，熱処理により α+β の混合組織に変態させることで靭性の向上が可能である（実際に 850℃×2 時間の熱処理で伸びが約 4%から 9%近くまで回復し，異方性も解消されたとの報告がある[1]）．また，SLM 造形品には内部気孔や欠陥が生じやすく，材料強度や疲労寿命を低下させる要因となる．そのため，造形後に熱等静圧プレス（HIP）処理を施し内部気孔を溶着させる手法も産業界で実用化されている．しかし，HIP 処理では高温によりマルテンサイト組織が分解し，理想的な機械的特性バランスを得られない場合もある．

以上の背景から，本研究では(a) SLM 造形後の部材に対し摩擦攪拌プロセス（FSP）による表層改質を適用し，組織および機械的性質の改善を図ること，そして(b) SLM 造形プロセスそのものの主要パラメータ最適化に資する基礎データを取得することを目的とした．

FSP は工具の摩擦熱と塑性流動により材料を固相状態で攪拌し，材料表面組織を微細化および均質化できる新しい熱機械的加工法である．元々は摩擦攪拌接合(FSW)から派生した技術で，材料を溶融させず加工できるため，溶接時のような気孔や割れ等の欠陥を生じにくいという利点がある．アルミニウム合金などに適用された従来研究では，FSP により硬さや耐摩耗性，延性などの向上が報告されている．Ti-6Al-4V 合金に対しても近年適用例が増えつつあるが[2, 3]，研究は依然として限られており，特に積層造形材に FSP を施した場合には，引張強度と延性のトレードオフが課題として報告されている．本研究プロジ

ェクトでは，SLM 造形 Ti–6Al–4V 合金の表面層に FSP を施し，組織変化と機械性質への影響を調べた．

また，SLM 造形時の品質（気孔率，欠陥，寸法精度など）や造形後特性は，レーザ出力や走査速度，粉末層厚，走査ピッチなど複数のプロセスパラメータに大きく依存する．そのため，適切な造形条件の把握と設定が不可欠である．一般にエネルギー密度（ED: laser energy density）という指標（レーザパワーを走査速度×ピッチ×層厚で割った値）が用いられ，造形品質の評価に利用されている[4, 5]．しかし，エネルギー密度が同一であってもパラメータの組み合わせによって造形品質は変化し得るため，各パラメータの個別影響を考慮した検討が重要である．本研究では，ハッチ間隔と照射時間の 2 因子について 6 水準の範囲で条件を系統的に設定し，合計 36 通りの造形実験を行った（Cube36 と称する）．これにより，エネルギー密度を基軸とした傾向把握に加え，パラメータ相互作用の影響や最適条件のマージン評価を明らかにすることを目指した．

以上の研究背景と目的に基づき，本在外研究では以下の 2 項目を主な柱として実施した．

① **SLM 造形 Ti-6Al-4V 合金の FSP 表面改質：**表層に FSP を適用し，組織，硬さ，強度への効果を評価した．FSP ツール形状および加工条件を検討するとともに，改質後組織の観察と SLM 未処理材との比較を行った．

② **SLM 造形条件の体系的評価（Cube36 実験）：**ハッチ間隔と照射時間の 36 条件で試験片を造形し，成形可能性，造形品の外観，内部品質を調べた．エネルギー密度と気孔率の関係を中心に，最適造形ウィンドウの把握を試みた．

以下では，それぞれの研究内容と得られた成果の一部について述べる．

2. 研究内容

2.1 FSP を用いた SLM 造形 Ti-6Al-4V 合金の表面組織改質

まず，SLM で造形した Ti-6Al-4V 合金供試材に対し，摩擦攪拌プロセス（FSP）を適用し，表面組織の変化と機械的性質の傾向を調べた．FSP では，先端にピンを有するショルダ付き円柱状ツールを材料表面に押し当て，高速回転させながら一定速度で移動させる．この際の摩擦熱と塑性流動作用により，材料表層では再結晶が生じる．その結果，積層方向に沿った柱状組織が破壊され，微細かつ等軸的な再結晶粒からなる攪拌層（stir zone）が形

成される．今回は板状試験片を SLM 方式で造形し，その表面に対して FSP をシングルパスで実施した．FSP 後は攪拌部の組織を金属顕微鏡および SEM で観察し，ビッカース硬さ試験により硬さ分布を評価した．さらに，引張試験により引張強度，耐力，伸びを測定した．図 1 に，SLM Ti-6Al-4V 合金の FSP 前後における引張強さ（UTS）および伸びの結果を示す．図 1(a)に示すように，いずれのビルド方向においても FSP 後には UTS が向上し，特に 45° ビルド材で顕著な強度増加が確認された．これは FSP による動的再結晶化により，微細かつ等軸的な $\alpha+\beta$ 組織が形成されたことに起因すると考えられる．図 1(b)は，LPBF 造形 Ti-6Al-4V 試験片における破断伸びを FSP 処理前後で比較した結果である．FSP 後はいずれのビルド方向においても伸びが低下する傾向を示し，特に 0° ビルド材で延性の低下が顕著であった．この原因としては，FSP による結晶粒の微細化に加え，プロセス領域に局所的な不均質が残存したことが挙げられる．なお，定量的な詳細データについては現在論文を執筆中であり，グリフィス大学との共同研究として論文投稿を予定している．

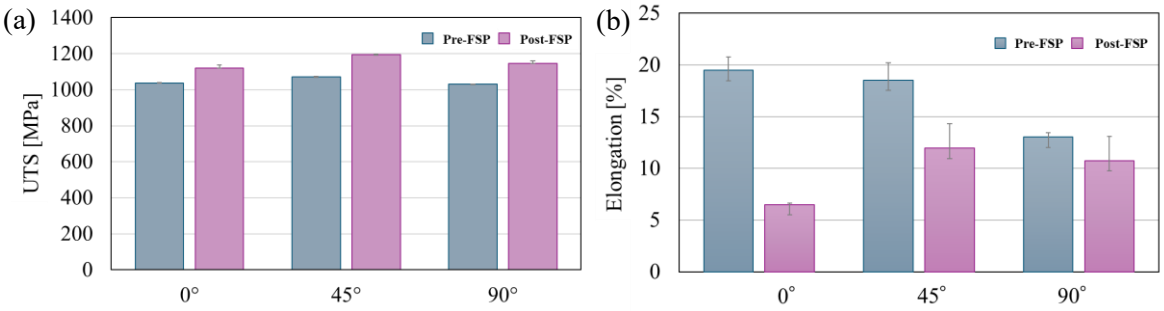

図 1 **(a)** FSP 前後における Ti-6Al-4V 造形材の引張強さ（UTS）の比較，(b) FSP 処理前後における Ti-6Al-4V 造形材の伸び（Elongation）の比較

2.2 選択的レーザ溶融（SLM）法による造形条件の最適化

SLM 造形プロセスにおけるパラメータ設定と成形品質の関係を調べるため，Cube36 と称する一連の造形実験を実施した．これはハッチ間隔と照射時間の 2 因子についてそれぞれ 6 段階の値を設定し，その全組み合わせ（6×6＝36 通り）で小型試験片を造形する試みである．各条件の造形試験片について，ビルドの外観，表面粗さ，内部の気孔発生状況等を観察し，最適条件領域の把握を目指した．一般にエネルギー密度（Energy density; ED）が低すぎる領域では粉末が十分溶融せず未溶融孔が発生するため気孔率が大きくなる．一方，ED が高すぎる領域では溶融池の不安定化や気化反応の促進によりキーホール孔と呼ばれる孔欠陥が再び増加する．実際，低 ED 領域では気孔率が高く，ED の増加に伴い気孔率は

低下した．さらに，ED が約 60〜80 J/mm³を超えると，気孔率は 0.1%未満となり，ほぼ致密な状態に達した．一方で，同じ ED であってもハッチ間隔と照射時間の組み合わせによって結果が異なる場合もあった．図 2 (a) Fusion 360 で設計した Cube36 実験用立方体試験片の配置モデルを示す．ハッチ間隔と照射時間を組み合わせた 36 通りの条件をそれぞれ複数造形するため，造形チャンバー内に多数の立方体を効率的に配置している．この設計により，同一ビルド条件下で多数の試験片を一括造形し，パラメータ依存性を系統的に評価できるようにした．また，図 2 (b) Renishaw AM400 による Ti-6Al-4V 合金試験片の SLM 造形中の様子を示す．レーザ照射により金属粉末が選択的に溶融と凝固し，層ごとに積層されて立方体試験片が形成されている．図 3 には，予備実験において造形と解析した気孔率（ポロシティ）の状況を示しており，エネルギー密度とポロシティの関係が確認できる．本件の詳細な結果分析は現在も継続中であり，本テーマについても国際共同論文として投稿を予定している．

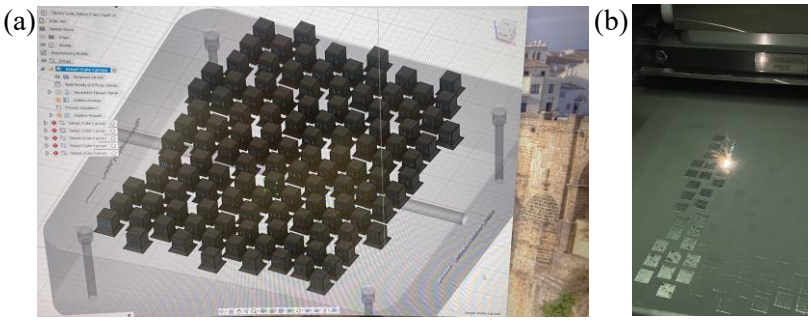

図 2　(a) Cube36 実験における立方体試験片配置の設計図（Fusion 360 によるモデル），(b) SLM 造形中の試験片作製の様子（Ti–6Al–4V 合金）

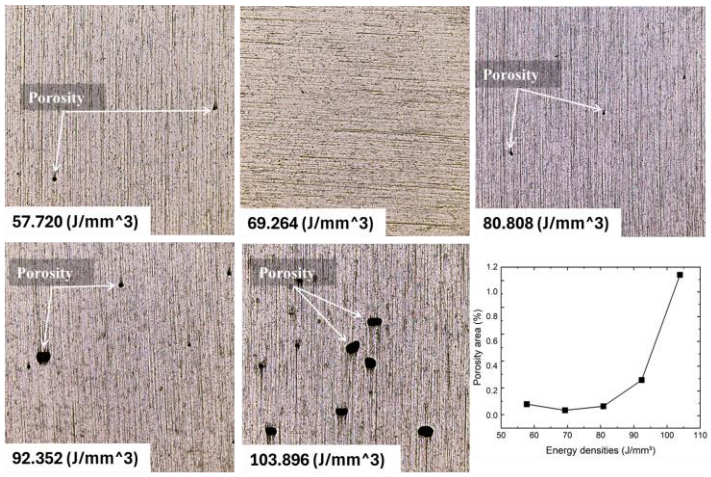

図 3 造形エネルギー密度とポロシティ面積率の関係

3. 滞在先と研究環境

3.1 グリフィス大学

3.1.1 大学基本情報

大学概要

図 4 グリフィス大学ゴールドコーストキャンパス（夜景外）

グリフィス大学（Griffith University, 1971 年創立）は，オーストラリアのクイーンズランド州に位置する総合大学であり，約 50,000 名の学生が在籍している．キャンパスはブリスベン，ゴールドコーストなど複数に分かれており，特にゴールドコーストキャンパスは工学，健康科学，デザインなどの分野を中心とした教育と研究拠点となっている．図 4 はキャンパス正門付近の夜景を撮影したもので，特徴的な赤と白の外装デザインが印象的にライトアップされている．大学の象徴的な建物の一つであり，ADaPT 研究所へも徒歩圏内に位置する．

教育制度

グリフィス大学はトライメスター制を採用しており，1 年間を 3 学期に分けて授業を行っている．これにより，柔軟な履修計画や短期間での学位取得が可能となっている点は，セメスター制を採用する国士舘大学との大きな違いである．

国際連携と協定

グリフィス大学は国士舘大学の協定校であり（1 か月間の語学研修プログラムのみ），学生交換や短期留学プログラムを通じて学術交流を行っている．今後は理工学部における共同研究や学生派遣のさらなる拡充が期待される．

大学ランキング・評価

QS 世界大学ランキングや THE（Times Higher Education）ランキングにおいてグリフィス大学は世界上位 2%の大学に位置付けられている．特に環境科学，臨床医学，教育学分野で高い評価を受けており，工学分野でもアジア太平洋地域で存在感を高めている．

工学分野の強み

工学部は先端製造技術，特に金属積層造形（Additive Manufacturing）や持続可能工学に注力しており，ADaPT（Advanced Design and Prototyping Technologies Institute）を中核に産学連携型研究を推進している．国士舘大学理工学部の「ものづくり教育」や「実験・実習重視のカリキュラム」との親和性が高く，両大学の協力は教育と研究の両面で大きな効果をもたらすことが期待される．

国士舘大学との共通点・違い

両大学は実践的教育に力を入れている点で共通している．一方，グリフィス大学は留学生比率が高く，教育制度や国際的研究ネットワークの広さに特徴があると思われる．国士舘大学にとっては，学生に英語圏での学修と研究機会を提供し，国際的視野を育成するうえで理想的なパートナーであると考えられる．図 5(a)は，学内に展示されている創立者の胸像で，大学の理念と歴史を象徴するモニュメントである．学生や来訪者に大学の建学精神を伝える存在となっている．図 5(b)は，大学正門前に停車するライトレール(Tram)の様子を撮影した写真である．グリフィス大学ゴールドコーストキャンパスには専用の駅が設けられており，市中心部やサーファーズパラダイスへのアクセスも良好である．交通利便性の高さは留学生にとって大きな魅力の一つとなっている．図 5(c)には，夜間に撮影したキャンパス入口付近の様子で，学生生活の拠点となる施設が周囲に整備されており，このような学生にとって安心して学べる環境が多数提供されている．図 5(d)は，工学・理学系学部を中心とする「Griffith Sciences」の正面玄関を示す．ADaPT 研究所に関連する授業や研究活動もここを拠点として行われ，赤い柱状の装飾が象徴的なデザインとなっている．

(a) (b) (c) (d)

図 5 (a) グリフィス大学創立者ナサニエル・グリフィスの胸像，(b) ゴールドコースト・ライトレール（G:link）と大学駅舎，(c) キャンパス正門エリア，(d) Griffith Sciences 学部棟（正面入口）

3.1.2 ゴールドコーストとキャンパス

図 6 定期開催されるキャンパスランチの様子

ゴールドコーストキャンパスは，教育と研究活動のみならず，学生生活を充実させるための環境が整っている．キャンパス内には自習スペースや図書館のほか，学生がリラックスできる共有スペースも多く配置されており，学習と余暇の両面を充実させる環境が整えられている（図 6-9 を参照）．

新学期開始時には，ガイダンス（Orientation）が実施され，新入生を対象とした大学生活や履修に関する説明に加え，クラブ・サークル活動への登録機会が設けられている。これにより，学問分野を超えた学生同士の交流やネットワーク形成が促進されている．また，キャンパス内には複数の食堂やカフェがあり，学生の日常的な食生活を支えている。特に特徴的な取り組みとして，「キャンパスランチ」 が約 2 週間に一度開催され，学生や教職員が気軽に集い，交流を深める場となっている．加えて，キャンパスは緑豊かな自然環境に囲まれており，学業の合間にリフレッシュできる点も魅力の一つである．さらに，毎年開催される 「Open Day at Griffith」 では，学内外の参加者に向けて大学の研究成果や教育活動が広く公開される。体験授業や研究室見学も行われ，高校生や地域社会とのつながりを強める重要なイベントとなっている．

図 7 グリフィス大学ゴールドコーストキャンパスにおける学生生活の様子：(a) 学生団体ブースの出展風景；キャンパス内で設けられたテントブースに，学術系・文化系・スポーツ系など多様な学生団体が出展している様子．学生が主体的に活動を紹介し，新入生を積極的に勧誘している場面である．活発な学生自治活動がキャンパスの特徴をよく示している．(b) 自然環境に囲まれた憩いのスペース．キャンパス周辺の自然を活かしたリラックスエリアである．木々に囲まれた芝生に設置されたビーズクッションでは，学生が読書や談話を楽しむ姿が見られる．学業の合間に心身を休める場として広く利用されている．

図 8 グリフィス大学ゴールドコーストキャンパスにおける飲食施設とキャンパスランチ

図 9 オープンキャンパスで展示されていた工学部のフォーミュラーカーおよび ADaPT のチタン造形品サンプル

ゴールドコーストキャンパスは緑豊かな自然に囲まれており，日常的に多様な野生動物をみることができる．オウム（レインボーロリキート）やブッシュターキーのような鳥類は芝生や樹木の周辺に頻繁に姿を見せ，ときにはコアラが校舎付近に現れることもある．こうした自然環境はキャンパスの魅力の一つであり，学生が学業とともに豊かな生態系に触れる貴重な体験を可能にしている（図 10 を参照：キャンパス＝自然共生の学習環境）．なお，「コアラ」という名称は，先住民アボリジニの言葉で「水を飲まない」という意味に由来するとされている．これは，コアラが主食とするユーカリの葉からほとんどの水分を摂取する習性に基づくものであり，オーストラリア固有の自然文化を象徴するエピソードとなっている．

図 10　グリフィス大学キャンパスに現れる野生動物: (a) 色鮮やかなオウム（レインボーロリキート），(b) キャンパス周辺を歩く野鳥（タスマニアンチキン／ブッシュターキー），(c) 学内に姿を現したコアラ

3.2 グリフィス大学 ADaPT 研究所

本在外研究の滞在機関であるグリフィス大学 ADaPT 研究所（Advanced Design and Prototyping Technologies Institute；先進設計・プロトタイピング技術研究所）は，グリフィス大学が中央財源で運営する施設のひとつである．ADaPT は先端的な設計技術と試作（プロトタイピング）に関する学際的研究を推進するために設立された研究所であり，工学，材料科学，バイオメディカル等の幅広い分野の専門家と最先端設備が一堂に会する「ハイテク一拠点」となっている[6]．ADaPT には金属，ポリマー，バイオマテリアルに対応し

た多様な 3D プリンティング技術が整備されており，産学連携による共同研究を推進し，イノベーションの創出に寄与している．

研究設備の一例として，積層造形（Additive Manufacturing）関連では，最新の医療用グレード金属 3D プリンタ〔レーザ粉末床溶融方式（Renishaw 社 AM400 など）〕や高精度樹脂プリンタ（Formlabs Fuse 1+（2023 年導入））を備え，チタン，ステンレス鋼，アルミニウム，コバルトクロムといった各種材料の試作造形が可能である．造形した部品の後加工のために，ワイヤ放電加工機や熱処理炉などの設備も整備されている．また，非破壊評価や計測機器も充実しており，3D スキャナ，3D レーザ顕微鏡，材料試験機などによる評価が可能である．これらの設備群により，アイデア段階の設計から試作品製造，小規模量産までをシームレスに実現できる体制が ADaPT には整っている．図 3 に，3D スキャナおよび 3D レーザ顕微鏡を使用している様子を示す．　図 11(a)は，ADaPT 1.0 前にて，研究を共に行った ADaPT の関係者（Prof. Stefanie Feih，Prof. Shoujin Sun，Technical Manager の Antonio Grimm，Senior Technical Officer の Kanau Kanah ）との集合写真をしめす．図 11 (b) は，本学協定校であるグリフィス大学において，ADaPT スタッフと国士舘大学国際交流センタースタッフとの交流を行った後の集合写真である．両大学間の国際連携を一層強化する機会となり，共同研究に加えて，学生派遣や教育プログラムの拡充に向けた協議も行われた．

図 11 (a)ADaPT 関係者との集合写真，(b) グリフィス大学 ADaPT スタッフおよび本学国際交流センタースタッフとの集合写真

ADaPT には最新の研究設備と教育支援環境が整備されており，多様な活動が日常的に展開されている．例えば，高精度 3D スキャナによる試料形状の計測では，造形物の寸法精度や形状誤差を詳細に評価できる．さらに，3D レーザ顕微鏡を用いた表面観察では，

粗さや微細形態を非接触で数値化することにより，金属積層造形材の品質評価に不可欠な情報が得られる．筆者も利用した研究デスクスペースは，日常的なデータ解析や論文執筆の場として機能し，国際的な研究交流を促進する基盤となった（図 12 参照）．加えて，ADaPT では学部生や留学生を対象とした見学プログラムも積極的に実施されており，スタッフによる装置説明や研究紹介を通じて教育と研究の融合が図られている．さらに，地域連携の一環として高校生向けの研究体験プログラムも実施されており，その活動に対して ADaPT は地元高校から感謝状を授与された．筆者も本プログラムに関与し，次世代教育に寄与する貴重な経験を得ることができた

図 12　グリフィス大学 ADaPT における研究環境と活動の様子：(a) 3D スキャナによる試料計測様子，(b) 3 次元レーザ顕微鏡による表面観察の様子，(c) ADaPT 内のオープンラボスペース，(d) 研究者用デスクスペース（筆者の作業席を含む），(e) 学生見学プログラムの実施風景，(f) 高校生体験プログラムへの貢献に対する感謝状

3.3 グリフィス大学受け入れ教員とスタッフ（共同研究者）

本研究所の所長を務める Stefanie Feih 教授 [7] は機械工学分野の研究者であり，複合材料や先進的製造プロセスに関する豊富な専門知識と実績を有する．Stefanie Feih 教授はド

イツ出身でケンブリッジ大学で博士号を取得した経歴を持ち，先端材料加工と構造性能評価の世界的エキスパートである．今回，Feih 教授には在外研究員の受け入れ責任者として ADaPT 全体との調整や研究全般のご指導を賜った．もう一人の共同研究者である Shoujin Sun 教授 [8] は，チタン合金の積層造形や高速加工技術に関する国際的な研究者であり，Ti–6Al–4V の SLM 造形について深い専門知識を持つ．Sun 教授には本研究の技術面で密接にご指導いただき，SLM 機の原理や製造方法，造形条件設定の助言，結果解釈における材料科学的見地からのディスカッションなど大変有益なサポートをいただいた．

技術スタッフとしては，AdaPT オペレーションマネージャーの Antonio Grimm およびシニア技術員の Kanau Kanah の両名に大変お世話になった．Antonio は ADaPT 全体の設備運用を統括しており，研究室安全や機器利用手続きについて丁寧にサポートしていただいた．Kanau は機械エンジニアとして主に積層造形装置や後加工設備の管理を担当しており，SLM 造形機（Renishaw AM400）の試料ビルドでは粉末供給から造形パラメータ入力，造形後の基板切断に至るまで直接ご助力いただいた．両氏の専門的サポートにより，本研究を円滑に進めることができた．

ADaPT では，教授や技術スタッフとの研究活動に加えて，博士課程の留学生や海外から派遣された研究者とも交流する機会が多く設けられていた．図 13 は ADaPT 関係者との懇談の一場面であり，左端はドイツの企業から半年間派遣されていた Philip である．こうした国際的な研究者と技術者の交流は，ADaPT の特徴の一つであり，学術研究と産業界の架け橋として重要な役割を果たしている．また，博士課程学生や企業関係者を交えた議論や食事会は，研究上の意見交換のみならず，異なるバックグラウンドを持つ人材とのネットワーク形成の貴重な機会となった．図 14 は今回の在外研究を支えてくださった ADaPT の主要メンバーと撮影した集合写真である．左から Stefanie，Kanau，筆者，Antonio，Shoujin であり，日々の研究指導や実験支援を通じて大変お世話になった．皆のサポートを得て，本研究は円滑に進められ，有意義な成果と貴重な経験を得ることができた．

図 13 ADaPT での技術スタッフとの学外交流様

図 14　ADaPT 主要メンバーとの集合写真（左から：Prof. Stefanie Feih [Director of ADaPT | Professor at School of Engineering and Built Environment | Griffith University]，Kanau Kanah Kana [ADaPT Senior Technical Officer]，Assoc. Prof. Hamed Mofidi Tabatabaei (School of Science and Engineering | Kokushikan University), Antonio Grimm (ADaPT Operational Manager)，Prof. Shoujin Sun [Professor at School of Engineering and Built Environment | Griffith University])

4　国際交流の経験と今後の連携

ADaPT での在外研究期間中は，日々の研究活動を通じて多くの国際交流の機会があった．研究所内では様々な国籍の研究者や学生と交流し，実験手法やデータ解析について活発な議論を行った．週次のミーティングではプロジェクトの進捗報告が行われ，充実した研究生活を送ることができた．また，自身の専門分野である機械材料や材料加工学に関する知識を共有しディスカッションを行う一方で，バイオメディカル材料や材料のシミュレーション解析など，他分野の先端研究の紹介を受ける機会もあった．これにより，新たな研究および教育のアイデアを得ることができた．

さらに，この在外研究を出発点として，今後の国際連携に関する具体的な構想も生まれた．

まず，学生の派遣と交流である．ADaPTの高度な設備と指導体制は学生教育にも最適であり，国士舘大学の学部生や大学院生を体験実習や短期研修として受け入れてもらう計画をStefanie Feih 教授に提案したところ，極めて前向きな反応を得た．その紹介により，グリフィス大学の Adjunct Associate Professor（非常勤講師）のポジションをオファーされ，今後は大学間の学術交流協定の締結などを通じて，学生派遣プログラムを実現したいと考えている．

また，本研究で得られた成果を基盤として，ADaPTとの共同研究プロジェクトを継続し，今後は共同論文の作成・発表にも取り組む計画である．グリフィス大学の関連分野の教員と連携し，科研費申請やその他の国際共同研究関連申請も視野に入れて準備を進めている．さらに，Stefanie 教授および Shoujin 教授はそれぞれの分野における国際的な専門家であり，将来的には日本に招待して学生向けのレクチャーやワークショップを開催するなど，教育的交流にも発展させたいと考えている．

将来的には，協定校であるグリフィス大学との間で多様なプログラムを構築し，交換留学生などを含め，より幅広い交流へと発展させたいと考えている．

5　まとめ

2024 年 9 月 1 日～2025 年 8 月 31 日の在外研究において，二つの国際共同研究プロジェクトを実施した．一つは，SLM 造形 Ti–6Al–4V 合金に FSP による表面改質を適用し，表層組織を微細化することで機械的特性の向上が見込めることを示した．もう一つは，SLM造形条件の体系的評価を行い，最適な造形パラメータ範囲を明確化できる可能性を示した．これらの成果は，金属積層造形材の性能向上策およびプロセス最適化指針として有益である．今後は，本研究で得られた成果をさらに発展させ，学術論文として公表するとともに，産業界への技術展開にもつなげていきたい．さらに，グリフィス大学との連携を継続し，本学の国際的な認知度を高めるとともに，教育と研究の向上を目的として科研費や外部資金の申請を積極的に進め，国際共同研究を推進していく．

謝辞

本在外研究を支援いただいた関係各位に深く感謝申し上げます．まず，この機会を与えてくださった国士舘大学，理事長ならびに学長をはじめ，理工学部の先生方，学部および学術研究支援課のスタッフの皆様に心より御礼申し上げます．また，グリフィス大学

ADaPT で受け入れてくださった Professor Stefanie Feih，Professor Shoujin Sun には心より感謝いたします．両教授からは研究指導のみならず，異文化環境で研究者として成長するための多くの助言と示唆をいただきました．技術スタッフの Antonio Grimm，Kanau Kanah Kana には，実験装置の操作や安全管理において多大なサポートをいただきました．さらに，在外研究期間中に出会ったすべての ADaPT の研究者・学生の皆様との交流にも感謝いたします．

参考文献

[1]. Mierzejewska ŻA. Effect of Laser Energy Density, Internal Porosity and Heat Treatment on Mechanical Behavior of Biomedical Ti6Al4V Alloy Obtained with DMLS Technology. Materials. 2019; 12(14):2331. https://doi.org/10.3390/ma12142331

[2]. Li K, Liu X, Zhao Y. Research Status and Prospect of Friction Stir Processing Technology. Coatings. 2019; 9(2):129. https://doi.org/10.3390/coatings9020129

[3]. Kalashnikov K, Chumaevskii A, Kalashnikova T, Cheremnov A, Moskvichev E, Amirov A, Krasnoveikin V, Kolubaev E. Friction Stir Processing of Additively Manufactured Ti-6Al-4V Alloy: Structure Modification and Mechanical Properties. Metals. 2022; 12(1):55. https://doi.org/10.3390/met12010055

[4]. Ling Zhang, Lian Li, Miaoquan Li, Effect of energy density on porosity, microstructure and mechanical property of Ti65/1.0TiB2 (wt%) composite fabricated by laser directed energy deposition, Journal of Alloys and Compounds, Volume 1037, 2025, 182489, https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.182489.

[5]. Ling Chen, Robert Wilson, Geoff de Looze, Kun Yang, Aaron Seeber, Additive manufacturing of titanium alloy based composites using directed energy deposition: Study of microstructure, mechanical properties and thermal conductivity, Materials Science and Engineering: A, Volume 884, 2023,145579, https://doi.org/10.1016/j.msea.2023.145579.

[6]. Griffith University facilities | ADaPT https://www.griffith.edu.au/advanced-design-prototyping-technologies-institute/our-facilities (Accessed on: September 10th 2025)

[7]. Stefanie Feih | Professor | School of Engineering and Built Environment - Mechanical Engineering and Industrial Design | Griffith University https://experts.griffith.edu.au/33840-stefanie-feih (Reference date: September 10th 2025)

[8]. Shoujin Sun | Professor | School of Engineering and Built Environment - Mechanical Engineering and Industrial Design | Griffith University https://experts.griffith.edu.au/20541-shoujin-sun (Reference date: September 10th 2025)