

令和3年度科学技術試験研究委託費
先端研究基盤共用促進事業
(先端研究設備プラットフォームプログラム)

パワーレーザーDXプラットフォーム
委託業務成果報告書

令和4年5月
大阪大学レーザー科学研究所

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、大阪大学レーザー科学研究所が実施した令和3年度「パワーレーザーDXプラットフォーム」の成果をとりまとめたものです。

目次

I. 委託業務の目的	
1. 1 委託業務の題目	1
1. 2 委託業務の目的	1
II. 令和3年度の実施内容	
2. 1 実施計画	1
(i) 委託機関（代表機関）の業務	
(ii) 再委託機関（代表機関を除く実施機関）の業務	
(iii) 協力機関の取組状況	
2. 2 成果・実績	8
(i) 委託機関（代表機関）の業務	
①プラットフォーム運営体制の構築	
②利用支援体制の構築	
③ワンストップサービスの設置	
④共用機器	
⑤専門スタッフの配置・育成	
⑥遠隔地からの利用・実験の自動化等に係るノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等	
⑦コミュニティ形成、国際的ネットワーク構築	
⑧その他	
(ii) 再委託機関（代表機関を除く実施機関）の業務	15
①利用支援体制の構築	
②共用機器	
③専門スタッフの配置・育成	
④遠隔地からの利用・実験の自動化等に係るノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等	
⑤その他	
(iii) 協力機関の取組状況	22

Ⅲ. フォローアップ調査項目

- 3. 1 令和4年度以降の取組実施に向けた課題、問題点・・・・・・・・・・23
- 3. 2 分野融合・新興領域の拡大について・・・・・・・・・・23
- 3. 3 共同研究・受託研究について・・・・・・・・・・23

I. 委託業務の目的

1. 1 委託業務の題目

「パワーレーザーDXプラットフォーム」

1. 2 委託業務の目的

本事業では、国内有数の先端的な研究施設・設備について、その整備・運用を含めた研究施設・設備間のネットワークを構築し、全ての研究者への高度な利用支援体制を有する全国的なプラットフォームを形成することで、我が国の研究開発基盤の持続的な維持・発展に貢献することを目的とする。

本プラットフォームでは、複数のプロジェクトで独自に開発・運用されてきた多種・多様な国内のパワーレーザーをネットワーク化し、パワーレーザーの施設利用のワンストップ化とデジタル技術を活用したリモート化とスマート化を進め、利用者目線での研究の選択肢の広がりアクセシビリティの向上というデジタルトランスフォーメーションを実施する。

II. 令和3年度の実施内容

2. 1 実施計画

(i) 委託機関（代表機関）の業務

【機関名：国立大学法人大阪大学レーザー科学研究所】

①プラットフォーム運営体制の構築

1)プラットフォーム実施機関、協力機関、事業支援機関と連携するための取組

プラットフォーム運営委員会を組織し、運営委員は代表、実施、協力機関に所属する教員・研究者に加えて、代表・実施機関で選任するパワーレーザーソムリエで構成する。学会推薦等による他機関からのオブザーバー参加についても導入し、コミュニティとの連携を強化していく。

2)他のプラットフォームと連携するための取組

大阪大学蛋白質研究所が実施機関となっているNMRプラットフォーム（代表機関 国立研究開発法人理化学研究所）、研究用MRI共有プラットフォーム（代表機関 大阪大学医学系研究科）、及び大阪大学コアファシリティと合同シンポジウム、連絡会等を開催し、相互理解、技術交流、課題解決の連携を進めていく。

②利用支援体制の構築

代表及び実施機関でパワーレーザーソムリエを指名し、各機関での専門性を高めると同時に、プラットフォーム全体で、ソムリエの名に相応しい幅広い視野、知識、技術を持った研究者・技術者を育成する。経験豊富なリサーチ・アドミニストレーターを専任し、委員会の運営、学協会との協力、ウェブサイト構築のための情報収集、各種情報発信を担当する。

③ワンストップサービスの設置

プラットフォーム運営委員会がワンストップ窓口となり、提案の実現に向けた段階的研究展開の助言、最適なパワーレーザー設備の紹介、提案者及び利用者から施設への要望の取りまとめ等、利用者パワーレーザーの仲介を行う。ワンストップサービスでは、代表・実施・協力機関及び産学フォーラムを通じて利用者と企業とのマッチングにも関与し、利用者の希望に応じて、研究の入口から出口までを包括的に支援可能な体制を作る。全国に広がるパワーレーザーの性能と特色を俯瞰出来るウェブサイトを利用者向けに構築する。

④共用機器

激光 XII 号レーザー

共同利用・共同研究設備であり、国内最大のエネルギーを誇り、国内のみならず、海外の研究者の利用が 1/3 以上を占め、国際的に著名な施設である。

LFEX レーザー

共同利用・共同研究設備であり、世界最大級のエネルギーを誇るペタワットレーザーである。相対論的プラズマ科学、レーザー駆動量子ビーム科学を先導するレーザーである。激光 XII 号と同様に、海外の研究者の利用が 1/3 以上を占める、国際的に著名な施設である。

⑤専門スタッフの配置・育成

パワーレーザーソムリエを採用し、機関で専門性を高めると同時に、実施機関と協力して、ソムリエの名に相応しい幅広い視野、知識、技術を持った研究者・技術者をプラットフォーム全体で育成できる環境を整える。NPO 法人等を活用し、プラットフォームで導入したスマート化、リモート化技術の機関を跨いだ技術共有を行う。他のプラットフ

ホーム事業及びコアファシリティ機構と協力し学際的にパワーレーザー技術者・研究者を育成する。デジタル化を担当する技術支援員へのインセンティブ付与を行う。欧米に比べて少ないパワーレーザーの産業界への普及を本プラットフォームで実現し、パワーレーザー研究者と産業界の間のキャリアパスを構築する。

⑥遠隔地からの利用・実験の自動化等に係るノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

代表機関が所有する設備をスマート化・リモート化に対応できるように高度化する。

代表機関が音頭をとり、各実施機関で導入したリモート化、スマート化技術をプラットフォーム内で普及させることで、プラットフォーム全体としてデジタルパワーレーザーのノウハウを蓄積し、デジタルパワーレーザーへと繋げる。

代表機関がオープンサイエンスの普及を主導し、新規利用者による新領域開拓への閾値を下げ、異動やライフイベント等に伴う利用者の労働環境の多様性を受け入れられる、時代に即した研究基盤共用体制へとパワーレーザーを変革させる。パワーレーザー分野に適したオープンサイエンスのポリシーを策定し、コミュニティ内でオープンサイエンスを拡げる意義と価値をコミュニティと共有する。ガイドラインを策定し、利用者コミュニティとの議論を経て、パワーレーザー及び利用分野におけるオープンサイエンスを実現する。オープンサイエンスに必要なデジタル技術の講習会を開催し、コミュニティ内に普及、共通化させることで、（占有期間終了後の）実験機器、解析ツール、実験データの利用者内での共用を促進する。オープンサイエンスのガイドラインに準拠した機器類の利用者による開発によって、研究活動のリモート化を促進する。

⑦コミュニティ形成、国際的ネットワーク構築

学協会には情報提供・広報活動を行い、利用者の開拓を行う。学協会からは運営委員及びオブザーバーの推薦などを通じて、運営に協力をお願いする。米国及び欧州で構築されているパワーレーザーネットワークとの互惠的連携を構築し、利用者をナビゲーションできる施設を海外へも段階的に拡げる。日本学術会議からの提言、学術の大型研究に関するマスタープランへの提案等を踏まえ、本プラ

ットフォーム事業終了後も持続可能な体制の構築について、コミュニティ内で議論を行う。

(ii) 再委託機関（代表機関を除く実施機関）の業務

【機関名：国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構】

①利用支援体制の構築

専門スタッフとしてデータサイエンティストを配置し、保有する共用装置のレーザーエネルギーなどのパラメータを一括して自動保存・管理できるようシステム構築に着手する。遠隔利用に向けて、共用装置のフロントエンドシステムの励起レーザー整備を行う。また、共用装置のレーザービームラインの遮光遠隔化を併せて行う。

②共用機器

J-KAREN

0.1 Hz の繰り返し動作でペタワット (=PW=10¹⁵ W) の超高強度光を発生させることができる J-KAREN レーザー装置を有する。このレーザーにより世界トップレベルの集光強度を生成することができる。超高温高圧状態や強力な電磁場における極限状態の研究を行うことができる。

③専門スタッフの配置・育成

保有する共用装置を中心にレーザー装置や計測機器に関する理解向上を促す教育を実施する。研究者らとの技術打ち合わせなどを通して、診断系に使われている機器の種類や原理から適切なデータ取得、解析手法の構築をできる人材になるよう専門スタッフを育成する。

④遠隔地からの利用・実験の自動化等に係るノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

保有する共用装置において、遠隔地からのリモート実験に参加できるように、運用面・技術面での実現方法の検討を行うとともに、実験データ保存の自動化、共有・利用システムについても検討を開始する。プラットフォーム内でも融合的・学際的に利用システムの標準化についても検討を開始する。

【機関名：国立研究開発法人理化学研究所放射光科学研究センター】

①利用支援体制の構築

X線自由電子レーザー（XFEL）施設 SACLA には、XFEL とパワーレーザーを同時に利用可能な極限環境実験基盤が整備されている。この基盤で利用されるハイパワーナノ秒レーザーシステムのリモート化とスマート化を、実施担当者が中心となって推進する。

②共用機器

極限環境実験基盤

ハイパワーナノ秒レーザーシステムを利用する極限環境実験基盤は、SACLA の他の実験装置と共に共用法の下で運用されている。この極限環境実験基盤では、GW 級の出力を持ったナノ秒レーザー（エネルギー >10J、パルス幅 5ns、波長 532nm）と XFEL を時空間で精密に重ね合わせて試料に照射することで、極限環境下の実験を極めて高い精度で実施できる。

③専門スタッフの配置・育成

パワーレーザーソムリエを指名し、XFEL とパワーレーザーを同時利用する各種の実験に対して幅広い知識、技術を持った研究者として育成する。

④遠隔地からの利用・実験の自動化等に係るノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

SACLA 並びに大型放射光施設 SPring-8 の運用を通して得られたリモート実験の知見も活かして、レーザーシステムのリモート化とスマート化を実施し、そのノウハウをプラットフォーム事業の関係機関と共有する。

【機関名：国立大学法人東京大学 物性研究所】

①利用支援体制の構築

学内の装置利用をコーディネートする技術スタッフに本事業に参加してもらおう。その一部はパワーレーザーソムリエとしての業務を担当する。

パワーレーザーソムリエ:プラットフォームからの依頼を受け、東大の機器利用希望者が機器利用を実施するまでの調整作業を行う。具体

的には、希望内容の聴取と最適装置の選定、当該機器利用のための日程調整を実施する。利用希望者との接点をソムリエに集約することで、ワンストップでの共用を実現する。

技術スタッフ：共用機器のメンテナンスや操作支援・指導を行う。外部利用者による操作を認めない機器については、操作も担当する。

②共用機器

266nm20Wピコ秒レーザー加工装置

高出力のピコ秒深紫外光源＋高速ビームスキャンにより、高品位微細加工を高スループットで提供

レーザー加熱加工装置

パルス幅、照射プロファイルが可変でき、加工位置の温度モニタリング機能を搭載しているため、条件の最適化と品質の安定化が可能

高輝度高出力青色半導体レーザー加工装置

出力ファイバー：コア径100 μ m、NA0.2、パワー密度：2.6MW/cm²、出力可変（0－200W）、アナログ／デジタル信号での変調可能、制御用PCアプリを用いた制御も可能

パルス幅可変レーザー加工装置

パルス幅、パワーなどのパラメータを高速で可変でき、条件の最適化が容易に可能

③専門スタッフの配置・育成

共用機器は波長範囲で深紫外から中赤外、パルス幅でフェムト秒からCWまでと広範な仕様を持ち、それぞれが市場にはない先端的な性能を持つ装置である。技術スタッフはこれらの装置の運用に通じて、汎用的で多様な目的な用途に対応可能なレーザー・レーザー加工技術を習得できる。また、利用希望者とのやり取りを通じて最先端のニーズを常に捉え続けることで、スタッフの技術をアップデートし続けられる環境を構築する。

④遠隔地からの利用・実験の自動化等に係るノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

実験結果は、レーザー加工データベースに登録することで、web経由で加工結果をいつでもどこからでも共有できる環境が構築されている。さらに、加工機とネット経由でデータベースにアクセスできるように

する計画があり、加工条件や加工結果を自動的にデータベースへ登録できるようにする計画である。

【機関名：国立大学法人京都大学 化学研究所】

①利用支援体制の構築

業務主任者がマネージャーとしての業務を担当する。担当責任者は本事業に参画し、高強度レーザー装置（T6 レーザー装置）にリアルタイム3次元映像配信システムを導入し遠隔実験が可能な実験環境を整備する。

パワーレーザーソムリエは、利用者の希望内容の聴取と実験条件の最適化、当該機器利用のための日程調整を実施する。担当責任者とパワーレーザーソムリエは、共用機器のメンテナンスや操作支援・指導を行う。

②共用機器

高強度レーザー装置（T6 レーザー装置）

出力仕様

レーザー波長；800nm

パルス幅：40fs～1ps

繰返周波数：最大5Hz（単発照射可能）

出力エネルギー；最大500mJ

③専門スタッフの配置・育成

専門スタッフは、深紫外から中赤外、パルス幅でフェムト秒からCWまでと広範な仕様の装置の運用を担当する。運用を通じて、汎用的で多様な目的な用途に対応可能なレーザー・レーザー加工技術等を習得する。利用希望者とのやり取りを通じて最先端のニーズを常に捉え、技術と知見をアップデートしてもらうことで、専門スタッフを育成する。

④遠隔地からの利用・実験の自動化等に係るノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

遠隔実験を可能にするためリアルタイム3次元映像配信システムを導入する。高強度レーザー実験については京都大学化学研究所が受け入れている文部科学省「国際共同利用・共同研究拠点」で採択された

テーマについて実施する。利用者が装置の予約状況がわかるようにワンストップサービスと連携した予約システムで公開する。この予約システムを導入する。

(iii) 協力機関の取組状況

協力機関である北海道大学、宇都宮大学、広島大学、九州大学、宮崎大学は、レーザーの波長、繰り返し、スペクトル幅、計測、レーザープラズマX線源等で実施機関とは異なる特性を有している。光産業創成大学院大学とレーザー技術総合研究所は光及びレーザーによる産業振興が設立理念であり、産業技術総合研究所は学術と産業界の橋渡しが基本方針の一つである。日本原子力研究開発機構敦賀総合研究開発センター レーザー・革新技术研究所はパワーレーザーの原子力産業への応用を展開している。運営委員会にも加わって頂きパワーレーザーDXの推進と共に、それぞれの機関の特性を生かしながら、ワンストップサービスの紹介先として協力して頂くことで、コミュニティの強化を行う。

2. 2 成果・実績

(i) 委託機関（代表機関）の業務

【機関名：大阪大学レーザー科学研究所】

①プラットフォーム運営体制の構築

1) プラットフォーム実施機関、協力機関、事業支援機関と連携するための取組

本プラットフォームの運営に関わるメンバーを含むメーリングリスト（登録者 96 名）及び slack のチャンネル（参加者 59 名）を開設し、随時、連絡と情報共有を行える環境を作った。

代表機関の運営担当者等が実施機関を訪問し、共用施設の見学と、各実施機関の取組状況について議論を行った。各実施機関への訪問日は下記のとおりである。量子科学技術開発研究機構関西研究所（令和 3 年 10 月 29 日）、東京大学物性研究所（令和 3 年 11 月 9 日）、大阪大学レーザー科学研究所（令和 3 年 11 月 24 日）、理化学研究所放射光科学研究センター（令和 3 年 12 月 21 日）、京都大学化学研究所（令和 4 年 1 月 7 日）。

本事業への理解と多様な協力を得るため、兵庫県立工業技術センター（令和 3 年 12 月 8 日）、大阪産業技術研究所（令和 3 年 12 月 24 日）、近畿高エネルギー加工技術研究所（令和 4 年 3 月 9 日）、大阪大学接合科学研究所（令和 4 年 3 月 18 日）を訪問し、意見交換を行った。

いくつかの機関は、令和4年度から協力機関として加わる予定である。

令和4年3月29日にプラットフォーム運営委員会（以下、「運営委員会」という。）を開催し、16名が参加した。下記の議題について議論し、実施機関間の連携を進めた。

1. 各実施機関での令和3年度の実施状況
2. 各実施機関での令和4年度実施予定の計画
3. オープンサイエンス・ポリシー案に関する議論
4. 成果の取りまとめ
5. OPIE'22への出展に関する議論
6. 令和4年度シンポジウム開催に関する議論

2)他のプラットフォームと連携するための取組

令和3年9月15日に「先端研究プラットフォーム合同会議」を開催し、相互の情報共有の環境を整えた。

令和3年11月8日から11月10日に幕張メッセで開催された最先端科学・分析システム&ソリューション展（JASIS2021）に本事業の4プラットフォームが合同で出展を行い、本事業の広報を図った。120名以上の訪問者があった。

大阪大学コアファシリティ構築支援プログラムと共に、大阪大学が関わっているNMRプラットフォーム、研究用MRI共有プラットフォーム、パワーレーザーDXプラットフォームが協力し、一般公開の「大阪大学 研究設備・機器共用シンポジウム」を令和4年2月1日に開催し、150名以上の参加があった。パワーレーザーDXプラットフォームからは事業の概要、利用方法、及び活用事例等を紹介した。

先端研究設備4プラットフォーム間での連絡用にSlackチャンネル及びメーリングリストを立ち上げ、プラットフォーム間にて密な連絡を行った。

②利用支援体制の構築

レーザー科学研究所にパワーレーザーDX推進室を新たに設置し、レーザー科学研究所の28名の教員及び5名の技術職員が本事業に参画する体制を整えた。

光ビームプラットフォームに関わり、施設連携の経験が豊富な研究者を特任教授として本事業にて雇用し、リサーチ・アドミニストレーターの機能を作った。特に、リサーチ・アドミニストレーターとして、実施・協力機関との連携、運営委員会の運営、学協会との協力、ウエ

ブサイト構築のための情報収集、利用者対応、各種情報発信を担当した。その成果として、令和4年度中に、協力機関が増える予定である。

パワーレーザーソムリエを特任研究員として本事業にて雇用した。リサーチ・アドミニストレーターと協力しながら利用者との技術相談に対応した。技術職員と連携しながら、利用者のニーズを技術導入に反映させた。

③ワンストップサービスの設置

図1に示すように、ワンストップサービスの窓口となるワンストップオフィスをお大阪大学レーザー科学研究所内に設置した。問い合わせ用の専用メールアドレスを開設した。

ワンストップオフィスへの問い合わせを、リサーチ・アドミニストレーターが調査し、各実施機関のパワーレーザーソムリエと相談しながら、各パワーレーザー施設へとナビゲーションする体制を整えた。

人を介した施設へのナビゲーションに加えて、全国に広がる多種多様なパワーレーザーの性能と特色を俯瞰できる、強力な検索機能を有するウェブサイト(<https://powerlaser.jp>)を構築した。令和3年10月の公開開始から800名以上の訪問者が訪れ、様々な情報提供の窓口として機能している。

新規ユーザーからの問い合わせを受け入れた。例として、A大学医学系からパワーレーザー治療に関する問い合わせ、B社からパワーレーザーに起因するダメージ検知に関する技術相談、C社からパワーレーザー利用のためのターゲットに関する技術相談、D大学からパワーレーザー利用に関する問い合わせを受けた。それぞれに対して、聞き取りを経て、パワーレーザー施設の紹介、企業と研究機関のマッチング等を行い、研究の入口から出口までを支援した。

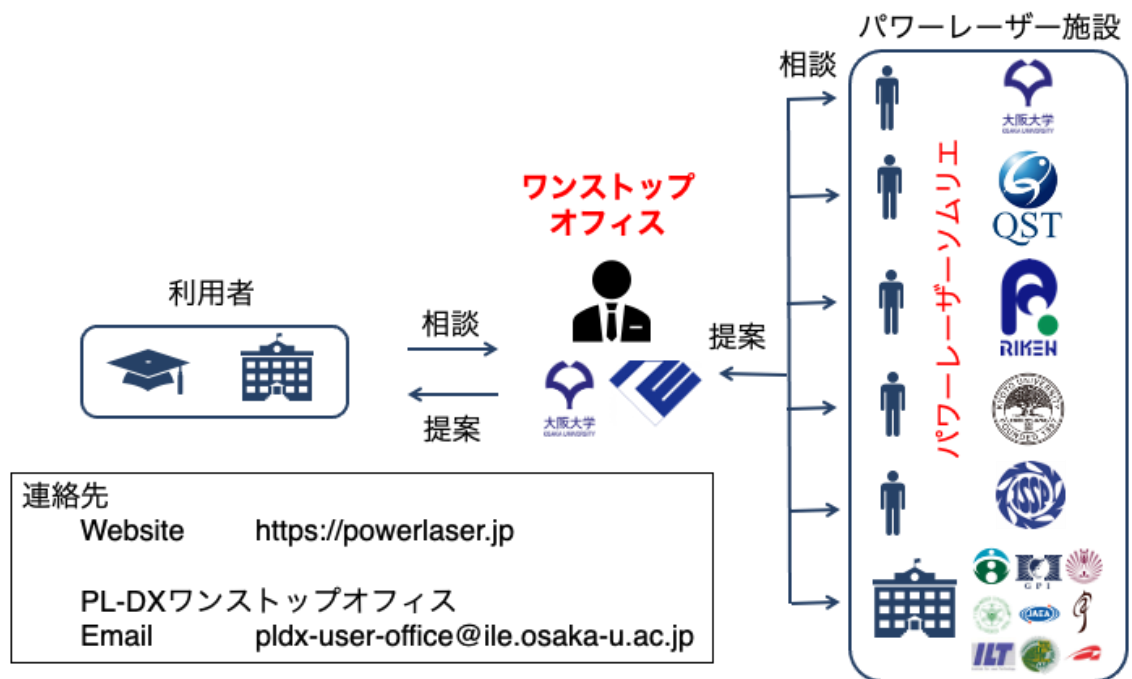


図1 ワンストップサービスの体制

④ 共用機器

レーザー XII 号レーザー

共同利用・共同研究設備であり、国内最大のエネルギー10 kJ を誇り、国内のみならず、海外の研究者の利用が 1/3 以上を占め、国際的に著名な施設である。

LFEX レーザー

共同利用・共同研究設備であり、世界最大級のエネルギー2 kJ を誇るペタワットレーザーである。相対論的プラズマ科学、レーザー駆動量子ビーム科学を先導するレーザーである。レーザー XII 号レーザーと同様に、海外の研究者の利用が 1/3 以上を占め、国際的に著名な施設である。

⑤ 専門スタッフの配置・育成

代表及び実施機関でパワーレーザーソムリエを採用し、各機関での専門性を高めると同時に、プラットフォーム全体で、ソムリエの名に相応しい幅広い視野、知識、技術を持った研究者の育成に努めた。

他の先端研究設備プラットフォーム及びコアファシリティ構築支援プログラム採択機関と協力し学際的にパワーレーザー技術者・研究者

を育成するための、ネットワークの構築を開始した。

パワーレーザーの産業界への普及を本プラットフォームで実現し、パワーレーザー研究者と産業界の間のキャリアパスの構築を進めた。

代表機関で育成したパワーレーザーソムリエ（特任研究員相当）が、令和4年4月から本プラットフォームの協力機関の助教に採用されるなど、キャリアの交流に繋がった。

⑥遠隔地からの利用・実験の自動化等に係るノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

図2のように、研究環境を遠隔地にいる利用者に提供するため、Virtual Private Network (VPN)の機器を強化した。50名以上の同時接続にも対応可能であり、大規模な共同研究も遠隔で実施可能になった。

共用設備である激光XII号レーザーの自動化として、図3のように、令和2年度の補正予算で導入した任意波形発生器に、ファイバーベースの増幅器を追加し、更にレーザー波形測定器と任意波形整形器の制御PCを繋ぐことで、レーザー波形の最適化の自動化・スマート化を実現した。これにより、人が装置の調整に要する時間を短縮できた。

共用設備であるLFEXレーザーの自動化・スマート化として、図4のように、増幅器列におけるレーザーアラインメントの自動化技術を導入した。これにより、人が装置の調整に費やす時間を短縮できた。

大型レーザー室内に無線アクセスポイントを多数配置することで、パワーレーザー機器の調整及び監視のリモート化、スマート化を加速できる基盤を作った。

パワーレーザー分野でのオープンサイエンスの推進に向けて、オープンサイエンス・ポリシー案を作成した。

オープンサイエンスの実現に向けて、図5のように大阪大学のデータ集約基盤ONIONとのシステム連携に関する議論を開始した。

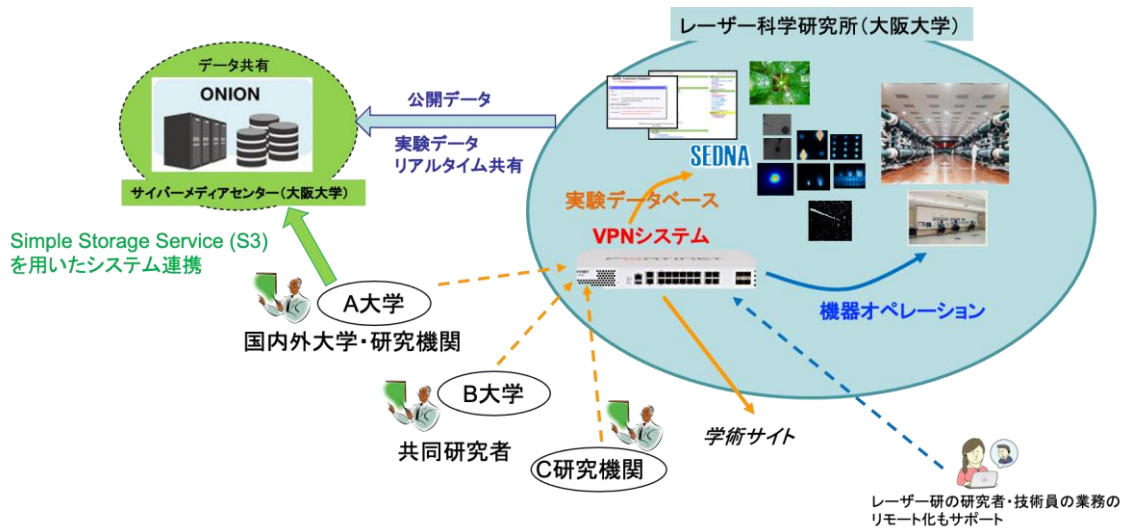


図2 Virtual Private Network による遠隔研究の基盤構築

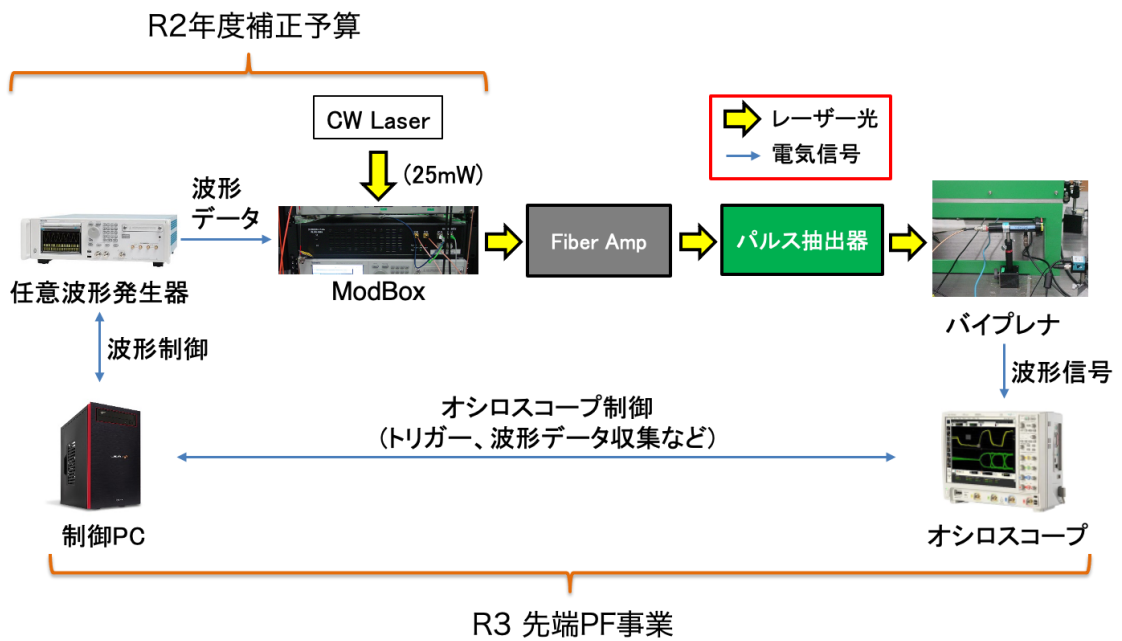


図3 激光 XII 号レーザーの発振器のスマート化

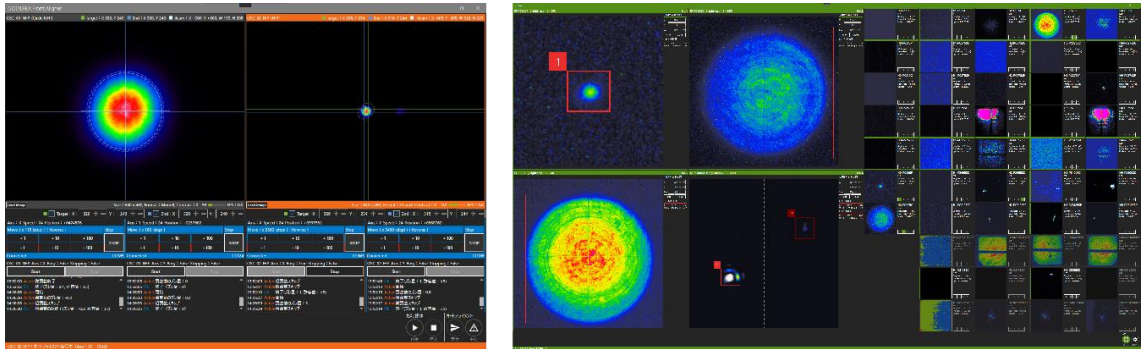


図4 LFEX レーザーの増幅部の自動アラインメント

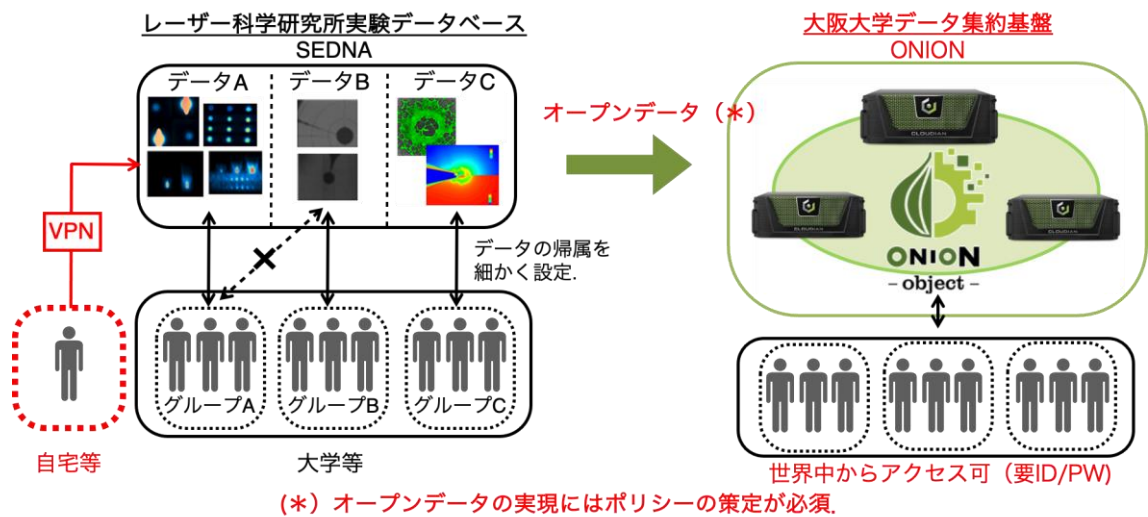


図5 オープンサイエンスに向けたシステム連携

⑦コミュニティ形成、国際的ネットワーク構築

プラズマ・核融合学会の会合にて、本事業の趣旨をコミュニティに向けて紹介した。

レーザー学会が発刊するレーザー研究の巻頭言に、本事業の目指す方向性とその重要性を寄稿し、コミュニティに向けて情報発信した。

同レーザー研究の特集記事として「レーザー科学における自動化と深層学習の進展」を提案した。

パワーレーザーに関する国際的なオープンサイエンスのネットワークを構築するために、米国のローレンスリバモア国立研究所、フランスのエコール・ポリテクニック、ルーマニアの極限レーザー核物理研

究所と、データの標準化及びデータストレージに関する議論を開始した。

⑧その他

オープンサイエンスの実現に向けて、オープンサイエンス・ポリシー案を策定し、運営委員会にて議論を行った。今後、パブリックコメントを実施し、コミュニティ内での合意形成へと繋げる。

(ii) 再委託機関（代表機関を除く実施機関）の業務

【機関名：国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構】

①利用支援体制の構築

専門スタッフとしてデータサイエンティストを配置し、保有する共用装置のレーザーエネルギーなどのパラメータを一括して自動保存・管理できるようにシステム構築に着手した。遠隔利用に向けて、共用装置のフロントエンドシステムの励起レーザー整備を行った。また、共用装置のレーザービームラインの遮光遠隔化を併せて行った。

本機構の共用装置である J-KAREN レーザー装置を遠隔で遮光するシステムとして、1) 図 6 に示すレーザー共振器に使用する直径 10 mm 用の小型遮光システム (6 台)、2) 図 7 に示す増幅器のレーザーを遮光する直径 20~30 mm 用の中型遮光システム (5 台)、3) 図 8 に示す増幅後のレーザーを遮光する直径 260 mm 用の大型遮光システム (4 台)、合計 15 台を開発した。レーザーのパワーやスペクトルデータを遠隔操作で取得するため、レーザー光路に計測器を導入するシステムも開発した (図 9)。各遮光システムやデータ取得システムは図 10 に示すタブレットや PC から遠隔制御が可能であり、1 タップの操作で遮光操作や、レーザーパワーやレーザースペクトルデータ取得ができる。

また、レーザー増幅部の 4 箇所とレーザー照射室にレーザー光路自動調整システムを導入し、レーザーの遠隔立ち上げ化・安定化を図った。本システムも同様に PC からの遠隔制御が可能である。J-KAREN レーザー装置のフロントエンドに図 11 に示す PC から遠隔操作可能な励起レーザーを整備した。

さらに、レーザーエネルギー等のパラメータを一括自動保存し、データ管理をするための小型サーバーのシステム設計を行った。レーザープロファイル画像を分析することで光学素子のダメージ管理も進められるよう分析手法等の準備も行った。

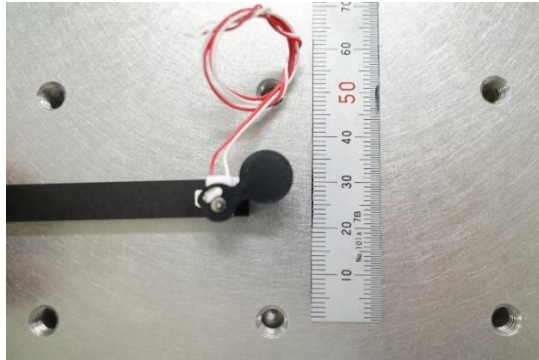


図 6 直径 10 mm レーザー用遠隔レーザー遮光システム.



図 7 直径 20 mm レーザー用遠隔レーザー遮光システム.



図 8 直径 260 mm レーザー用遠隔レーザー遮光システム.

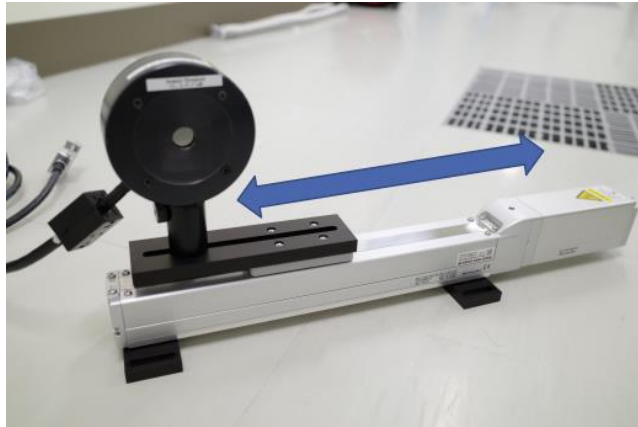


図9 遠隔レーザーパワー測定システム.



図10 レーザー遮光/データ取得をタブレットやPCで遠隔操作できる.

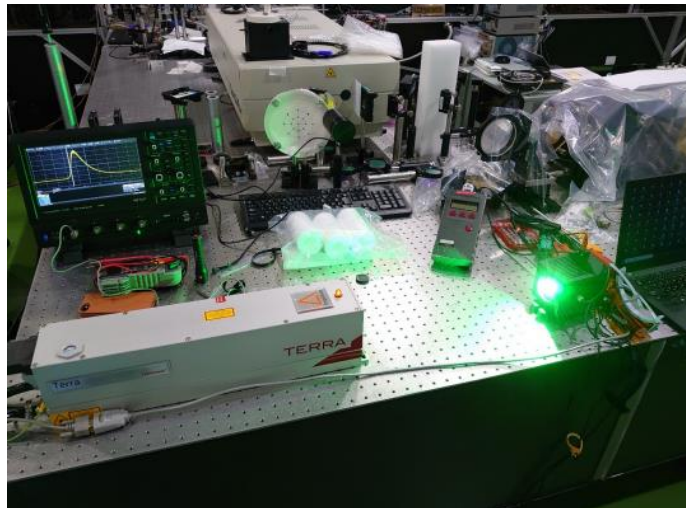


図11 遠隔操作対応型フロントエンド用励起レーザー.

②共用機器

J-KAREN

0.1 Hz の繰り返し動作でペタワット (=PW=10¹⁵ W) の超高強度光を発生させることができる J-KAREN レーザー装置を有する。このレーザーにより

世界トップレベルの集光強度を生成することができる。超高温高圧状態や強力な電磁場における極限状態の研究を行うことができる。

③専門スタッフの配置・育成

保有する共用装置を中心にレーザー装置や計測機器に関する理解向上を促す教育を実施した。研究者らとの技術打合せなどを通して、診断系に使われている機器の種類や原理から適切なデータ取得、解析手法の構築をできる人材になるよう専門スタッフを育成した。

研究者らとの技術的打ち合わせを通して、J-KAREN レーザー装置の構成や、計測機器を始め、施設のネットワーク構成やネットワークインフラを理解するための教育を実施した。また、一般的なレーザー知識を盤石にするためにも、一般財団法人光産業技術振興協会が主催するレーザー安全スクールなどにより、レーザー基礎知識や使用方法及び安全教育等の教育を行った。併せて、専門のデータサイエンティストとして、適切なデータ取得方法、レーザーに関する AI の利用方法や解析方法、装置の故障予知等の教育を行った。

④遠隔地からの利用・実験の自動化等に係るノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

保有する共用装置において、遠隔地からのリモート実験に参加できるように、運用面・技術面での実現方法の検討を行うとともに、実験データ保存の自動化、共有・利用システムについても検討を開始した。本プラットフォーム内でも融合的・学際的な利用システムの標準化についても検討を開始した。

施設外の遠隔地からの操作のために、ネットワークセキュリティの教育を行った。これにより、上記のレーザー光を遠隔操作できるシステムに対して、外部利用用と内部利用用に隔てたネットワーク構成を構築し、今後の本事業の進展に伴い、運用のセキュリティ面での問題を考慮したシステムを構成した。

【機関名：国立研究開発法人理化学研究所放射光科学研究センター】

①利用支援体制の構築

X 線自由電子レーザー（XFEL）施設 SACLA に整備されている XFEL とパワーレーザーを同時に利用可能な極限環境実験基盤について、この基盤で利用されるハイパワーナノ秒レーザーシステムのリモート化とスマー

ト化に取り組むために実施担当者2名を配置した。この基盤に関する利用者からの問い合わせへの対応などのために、レーザーソムリエを実施担当者の中から指名した。また、実施担当者らの取組など、機関内の活動の方針決定を主導すると同時に、他の実施機関との情報共有を担当するために担当責任者を配置した。

②共用機器

極限環境実験基盤

ハイパワーナノ秒レーザーシステムを利用する極限環境実験基盤は、SACLA の他の実験装置と共に共用法の下で運用されており、ナノ秒レーザーと硬 X 線 FEL を時空間で精密に重ね合わせて試料に照射することで、極限環境下の実験を極めて高い精度で実施できる。令和3年度は以下の条件でナノ秒レーザーを利用可能とした。

- ・エネルギー：10-15 J (サンプル位置において)
- ・パルス幅、波形：5 ns 矩形
- ・波長：532 nm
- ・集光スポット：120、170、260 μm (FWHM) のフラットトップ形状

③専門スタッフの配置・育成

レーザーソムリエに対しては、ハイパワーレーザーの運用実績を豊富にもつ実施担当者らと共同してレーザーの運用に取り組む中で、レーザー運用に関わる専門的な知識を深める教育を実施した。レーザー装置やその運用に関して、スマート化や安定化を進めるために取り組むべき課題をレーザーソムリエが中心となって整理し、課題解決に向けた方策の検討を本事業の実施機関の研究者らとともに共同して進めた。また、XFEL とハイパワーレーザーを同時利用する各種の実験支援に携わることで、幅広い知識、技術を習得できるような機会を設けた。

④遠隔地からの利用・実験の自動化等に係るノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

SACLA 並びに大型放射光施設 SPring-8 で構築された、遠隔地から装置を制御してリモート実験を行う仕組みを活用した初めてのユーザー実験が令和3年度に実施されたことを受け、開発された仕組みを本事業の参画者らに紹介し、リモート実験の実施にあたってのノウハウを共有した。

⑤その他

XFEL 施設 SACLA として定期的を開催している SACLA Users' Meeting 2022 (令和 4 年 3 月オンライン開催) では、ハイパワーレーザー利用実験基盤を対象としたセッションを設け、既存の利用者に加え、今後利用を検討している方も対象として、実験基盤に関する情報提供の機会を設けた。

【機関名：国立大学法人東京大学 物性研究所】

①利用支援体制の構築

学内の装置利用をコーディネートする技術スタッフが本事業に参画した。その一部はパワーレーザーソムリエとしての業務を担当した。

ユーザー対応と機器の操作業務を分けることにより、問い合わせから実験完了までをワンストップかつ迅速に実施する体制を構築した。

パワーレーザーソムリエ：問い合わせから実験完了まで、ユーザーとの折衝含むすべてのコーディネート業務を担当。

技術スタッフ業務：共用機器の操作を担当。

②共用機器

266nm20W ピコ秒レーザー加工装置

高出力のピコ秒深紫外光源＋高速ビームスキャンにより、高品位微細加工を高スループットで提供

レーザー加熱加工装置

パルス幅、照射プロファイルが可変でき、加工位置の温度モニタリング機能を搭載しているため、条件の最適化と品質の安定化が可能

高輝度高出力青色半導体レーザー加工装置

出力ファイバー：コア径 100 μm 、NA0.2、パワー密度：2.6MW/cm²、出力可変 (0-200W)、アナログ/デジタル信号での変調可能、制御用 PC アプリを用いた制御も可能

パルス幅可変レーザー加工装置

パルス幅、パワーなどのパラメータを高速で可変でき、条件の最適化が容易に可能

③専門スタッフの配置・育成

共用機器は波長範囲で深紫外から中赤外、パルス幅でフェムト秒から CW までと広範な仕様を持ち、それぞれが市場にはない先端的な性能を持つ装置である。技術スタッフはこれらの装置の運用に通じて、汎用的で

多様な用途に対応可能なレーザー・レーザー加工技術を習得した。また、利用希望者とのやり取りを通じて最先端のニーズを常に捉え続けることで、スタッフの技術をアップデートし続けられる環境を構築した。

④遠隔地からの利用・実験の自動化等に係るノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

実験結果は、レーザー加工データベースに登録することで、web 経由で加工結果をいつでもどこからでも共有できる環境が構築された。

遠隔からのリアルタイムでの安全管理環境を構築した。また、共用機器のネットワーク化に向け、インフラ整備と整備したネットワークカメラを活用した模擬遠隔実験を実施した。

【機関名：国立大学法人京都大学 化学研究所】

①利用支援体制の構築

業務主任者がマネージャーとしての業務を担当した。担当責任者は本事業に参画し、高強度レーザー装置（T6 レーザー装置）にリアルタイム3次元映像配信システムを導入し、遠隔実験が可能な実験環境を整備した。

パワーレーザーソムリエは、利用者の希望内容の聴取と実験条件の最適化、当該機器利用のための日程調整を実施した。担当責任者とパワーレーザーソムリエは、共用機器のメンテナンスや操作支援・指導を行った。また、新たに複合レーザービーム装置の整備を開始した。

②共用機器

高強度レーザー装置（T6 レーザー装置）

出力仕様

レーザー波長：800nm

パルス幅：40fs～1ps

繰返周波数：最大 5Hz（単発照射可能）

出力エネルギー：最大 500mJ

複合レーザービーム装置

出力仕様

レーザー波長：800nm、400nm

パルス幅：40fs～1ps

繰返周波数：最大 5Hz（単発照射可能）

出力エネルギー：最大 1mJ

③専門スタッフの配置・育成

専門スタッフは、深紫外から中赤外、パルス幅でフェムト秒から CW までと広範な仕様の装置の運用を担当した。運用を通じて、汎用的で多様な用途に対応可能なレーザー・レーザー加工技術等を習得した。利用希望者とのやり取りを通じて最先端のニーズを常に捉え、技術と知見をアップデートしてもらうことで、専門スタッフを育成した。

④遠隔地からの利用・実験の自動化等に係るノウハウ・データの蓄積・共有、利用システムの標準化、技術の高度化に向けた利用支援（利用と機器開発の連携拡大）等

遠隔実験を可能にするためリアルタイム3次元映像配信システムを導入した。高強度レーザー実験については本学が受け入れている文部科学省「国際共同利用・共同研究拠点」で採択された下記テーマについて実施した。

- ・プリパルス付与による高変換 TNSA イオン加速機構実証 Purdue University
 - ・高強度レーザーと構造的媒質の相互作用による高エネルギー密度プラズマの生成・保持に関する実験研究、京都大学
 - ・宇宙暗黒成分解明へ向けた真空内四光波混合の探索、広島大学
- 加えて、文部科学省 Q-LEAP 基礎基盤研究「先端ビームによる微細構造物形成過程解明のためのオペランド計測」京都大学に関する研究を実施した。

利用者が装置の予約状況がわかるようにワンストップサービスと連携した予約システムで公開した。この予約システムを導入した。

(iii) 協力機関の取組状況

本事業において、利用希望者に対して、広島大学のパワーレーザー装置の紹介を行った。

III. フォローアップ調査項目

3. 1 令和4年度以降の取組実施に向けた課題、問題点

令和3年度の本事業の実施に伴い、学会誌などによる広報が必要である。令和4年度はレーザー学会誌の特集企画において本事業に関連する装置の性能紹介や取組内容についてレーザー科学に興味を持つ読者に配信する計画である。

3. 2 分野融合・新興領域の拡大について

本事業を通じて、医学部の研究者がパワーレーザーの医療応用に興味を持ちワンストップ窓口を訪問し、パワーレーザーと医学の融合の芽が生まれた。

パワーレーザーに関係する周辺技術、特にレーザー標的の自動計測・評価に、機械学習の専門家が興味を持ち、パワーレーザーと機械学習の融合が生まれはじめている。

令和 3 年度の本事業の実施に伴い、分野融合が進んだものとして平成 30 年度-令和 7 年度文部科学省光・量子飛躍フラッグシッププログラム (Q-LEAP) 基礎基盤研究「先端ビームによる微細構造物形成過程解明のためのオペランド計測」との連携がある。令和 4 年度以降も、高強度レーザーを利用した研究を展開することで分野融合が更に加速することが期待される。

3. 3 共同研究・受託研究について

パワーレーザー施設における、ターゲット供給に関する共同研究が、民間企業と大阪大学レーザー科学研究所の間で、令和 4 年度から開始する。