

2. 量子ビーム科学研究施設の現状

2-1 強力極超短時間パルス放射線発生装置(Lバンドライナック)

2-1-1 Lバンドライナックの運転状況

図1は、平成30年度におけるLバンドライナックの運転日数を、月別、モード別に表したものである。今年度のLバンドライナック共同利用では、20件の量子ビーム科学研究施設 共同利用研究課題と11件の物質・デバイス領域共同研究拠点 施設・設備利用課題が採択された。前期は保守作業の20シフトを含む121シフトが配分され、後期は保守作業の18シフトを含む120シフトが配分された。

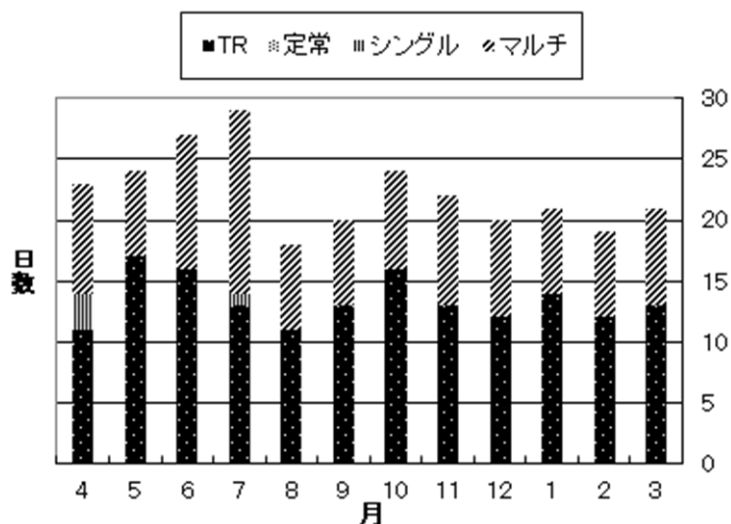


図1 平成30年度Lバンドライナック月別運転日数

保守運転を含む運転日数は256日、運転時間実績は3117時間であった。

2-1-2 保守および故障の状況

電子銃

2018年6月から第2照射室での運転中に発生する暗電流が問題となった。暗電流の電荷量は第2照射室の線量と比例し、1 $\mu\text{Sv/h}$ あたり 0.08 nC/s の暗電流が発生することを確認した。そこでバイアス調整と2室の線量をモニターしてサンプルに照射される暗電流量を管理し利用実験を継続し、8月の保守期間にカソードの交換を行った。今回のカソードの寿命は1年4か月であった。YU156の値段高騰のため、同スペックのHeatWave社のHWEG-1227を購入し、来年度に試運転を行うことにした。

微量PCBの混入が発覚した電子銃の昇圧トランスを廃棄するために、Spellman社の直流高圧電源（最大電圧-130kV、最大電流2.3mA）とAC100V供給のためにユニオン電機の絶縁トランスの設置・電子銃タンクへの配線を行った。絶縁トランスには安全のため感電防止用のカバーを取り付け、高圧電源はLバンドのインターロックに組み込んだ。高圧電源の制御プログラムはPLCの運転状態と同期して動作するようにLabVIEWで作成し、ユーザー操作不要で運転できるようにした。

冷却装置

高額な消耗品である冷凍機の寿命の延長や、電気代と騒音の低減を目指し、精密系冷却装置の2台の冷凍機を経由せずに直接2次側冷却水と1次側冷却水の熱交換を行う冷凍機のバイパス改造

を行った。昨年度は機械と電気の基本設計と改造に必要な部品の準備を行い、今年度は1次側と2次側冷却水の熱交換を行なう熱交換器、冷凍機バイパス用バルブ、1次側の流量を制御して温度制御を行う三方比例弁、3つの運転モード切替用の制御盤等の実際の機器の設置と配管作業を行った。9月より2台の冷凍機をバイパスさせた運転を始め、従来通りの利用運転が可能であり、常時20kW程度の電気代の削減が実現できていることを確認した。

高額で交換に手間のかかるクーリングタワーのフィルター交換頻度を減らすために、クーリングタワー吸い込み口のプラスチックカバーに目の細かい排水溝ネットを付けてごみの除去を行っていたが、つまりが多くなった時の圧力でプラスチックカバーが破損した。現在はプラスチックカバーを外しYストレーナでごみの除去を行っているが、今後プラスチックカバーの強化を行う予定である。またクーリングタワーの清掃を容易にするために、コンセントと蛇口の設置、藻の発生しやすい散水槽へのカバーの設置を行った。

昨年度末から今年度にかけて純水により機器を冷却する2次側冷却水システムの排水経路や、空気抜き、流量計、バルブの追加等の整備を行った。

RF 関係

ノイズによる影響で故障した半導体スイッチの修理と原因調査のため高圧電源と模擬負荷による放電試験回路を組み動作確認を行った。共通基板の光送受信ICやDCDCコンバータ、ゲート基板のFETやDCDCコンバータ、サイリスタやスナバ用のダイオードの故障が判明した。故障の深刻な共通基板1枚とゲート基板1枚を除いた、基板9枚の修理が完了した。さらに故障時に対応できるための予備基板の製作を行った。来年度初めにモジュレータへの組込試験を予定している。

その他

6月18日の地震によりLバンドの運転に影響が発生した。クライストロンモジュレータでは放電が多発し、20日まで充電電圧を0.5~2kV程度下げて利用実験を行い、21日から通常の充電電圧での運転を再開した。地震の揺れでクライストロンタンクの絶縁油に気泡が入り絶縁性能が劣化していたと考えられる。またFELミラーのアライメントのずれによる強度低下が発生し、ミラー位置の調整を行うことで通常の強度まで改善した。また第2照射室のコンクリートブロックに地震の揺れによる隙間が発生した。業者にコンクリートブロックの積み直しを依頼した。

Windows2000で動作するIL-PCが故障したので、Windows10のPCに制御プログラムを移植し動作することを確認した。

2-1-3 ビーム振り分けテスト

Lバンドライナックビームの有効利用とユーザー数の増加に対応するため、複数ユーザーの同時利用を可能にすることが課題となっている。ビームの振り分けに伴い照射場所の新たな確保も望まれるが、費用も掛かるため、まずは現状の照射場所で同時実験を可能にするための準備を行ってきたい

る。これにはビーム振り分け用の電源とパルス運転が可能な電磁石が必要であるが、まず偏向電磁石に電流を供給するパルス電源を購入し、その後この電源を使った振り分けテストを行い、電磁石の設計にこの結果を反映させることにし、昨年度パルス電源を購入した。今年度は偏向電磁石の仕様を決めるためにも、購入したパルス電源と現有設備（ビームライン、偏向電磁石等）を用いてビーム振り分けテストを行った。

一般にこの種のパルス電源には、サイラトロンやサイリスタを使用した高圧放電回路が用いられているが、このような回路では絶縁距離も必要で規模も大きくなるため、省スペースでパルス幅や電圧変更に対し容易に対応可能となるマイクロコンピュータによる制御方式のパルス電源をパルスパワー技術研究所より購入した。これは安定化のためのフィードバック制御を電流とモニター磁場の両方から行うことができるようになっている。今回のテストの概要を図2に示す。矢印で示す偏向電磁石に矩形電流を周期的に流し、第2照射室と第1照射室で電子ビームをモニターし、安定度を評価した。

図3に制御用の信号、印加電流、モニター磁場の強度を示す。これは磁場を一定にするように電流制御を行った結果である。この結果単一パルスではモニター磁場の安定度は約0.41%であり、この時の第2照射室での電流安定度も約0.5%程度が得られた。繰り返しを上げることでビーム

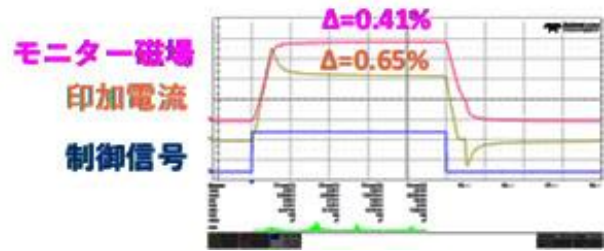


図3 制御信号、印加電流、モニター磁場波形

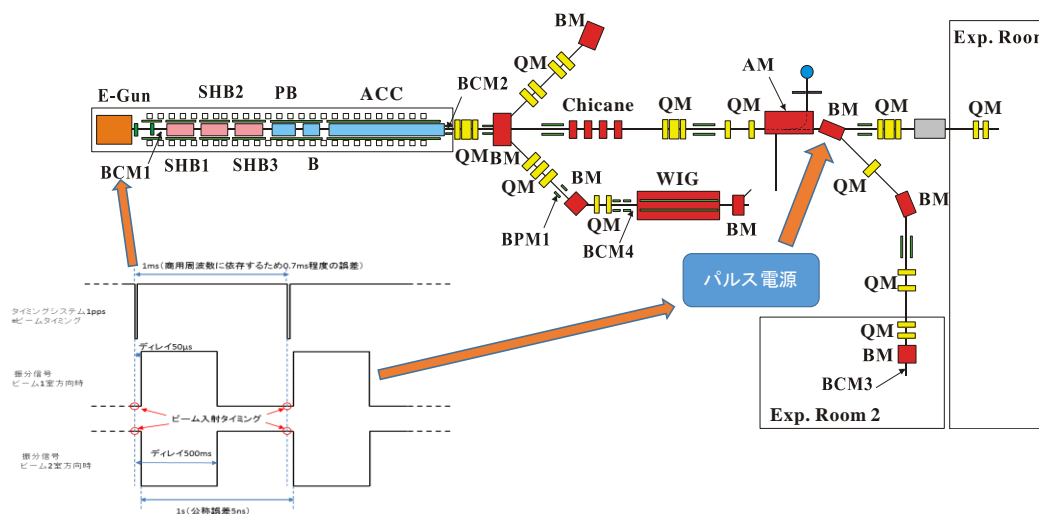


図2 ビーム振り分けテストの概要

の安定度がどうなるかを調べたものを図4に示す。これは繰り返しを 3.3 pps にしたもので、繰り返しが早くなることにより、電流のフィードバックを制御しても磁場のフラットトップ領域を作ることは難しくなる。しかし、さらに繰り返しを上げた 5 pps の場合でも磁場の安定度は 0.7 % 程度、この時の第2照射室でのビーム電流安定度は約 0.2%程度であったので、フラットトップ領域はとれなくても、実際のパルスラジオリシス実験には供給可能であることが判った。今後長時間運転に対する検討やインターロックの変更、偏向電磁石の発注等を行うとともに、異なる入射条件や異なるビームモードにおける同時使用に対する検討も行っていく予定である。

2-1-4 ビームエミッタンス評価

前項のビーム振り分けの所でも記したが、照射場所の増設を行い、そこにも同時にビームを供給

できることが望まれる。これには照射用ビームポートの増設を伴うため、現状のビーム特性を把握しておく必要がある。現在知られているビームエミッタンスはかなり前に評価されたままであるため、エミッタンスの再評価を行うことにした。

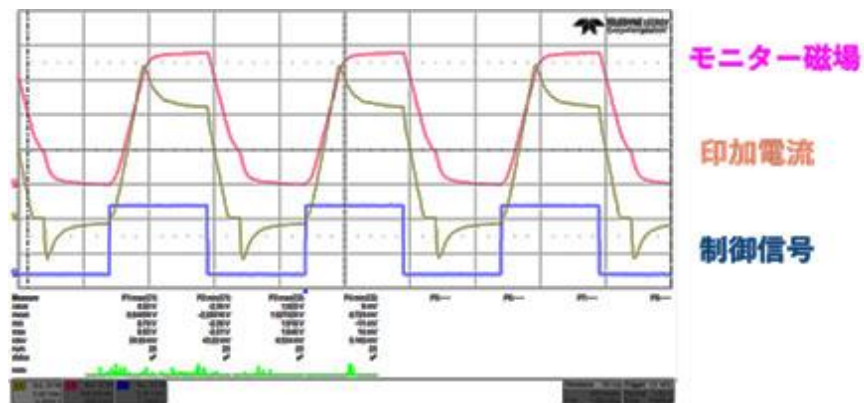


図4 繰り返し 3.3 pps での制御信号、印加電流、モニター磁場波形

今回はどこまで正確にエミッタンスを評価するのかは重要ではなく、新たなビームライン構築のための評価に主眼を置いているため、まずは Twiss パラメータ導出によるビーム特性評価を行い、これと Transfer Matrix によるビーム軌道と実際のビームラインにおけるビーム軌道とを比較することでビームエミッタンスの評価を行うことにした。

ビームエミッタンスは一般に位相空間での体積であり、各方向が独立であればビーム径とその方向の運動量（ビーム発散角に対応）を軸とする楕円の面積で表される。この楕円の軸を x 、 y とすれば楕円を表す方程式は $Cx^2 + 2Axy + By^2 = \epsilon$ と表される。A,B,C が Twiss パラメータ、 $\pi\epsilon$ がエミッタンスである。ビームエンベロープに対応する半径は $\sqrt{B\epsilon}$ で表される。一方、ビーム輸送

に係る Transfer Matrix を $\begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} \end{pmatrix}$ とすると Twiss パラメータとの関係は次のように書ける。

$$\begin{pmatrix} B_2 \\ A_2 \\ C_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma_{11}^2 & -2\sigma_{11}\sigma_{12} & \sigma_{12}^2 \\ -\sigma_{11}\sigma_{21} & (\sigma_{22}\sigma_{11} + \sigma_{21}\sigma_{12}) & -\sigma_{22}\sigma_{12} \\ \sigma_{21}^2 & -2\sigma_{22}\sigma_{21} & \sigma_{22}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} B_1 \\ A_1 \\ C_1 \end{pmatrix}$$

A,B,C の下付きの 1 と 2 は輸送前後の値を示している。これからビーム径は

$$R_i = \sqrt{(B\sigma_{1i} - A\sigma_{2i})^2 + \sigma_{2i}^2} \quad (1)$$

とあらわされる。加速管出口から最も近い Triplet 電磁石の真ん中の Q マグネットにだけビームが集束するように通電し、そこから約 33 cm 離れた位置のアルミナ蛍光板でビーム像を評価した。

Q マグネットの電流値(A)とビーム短

半径(mm)との関係をプロットした

ものと、上記関係式(1)を用いてこの

プロットにフィッティングした時の

フィッティング曲線を共に図 5 に示

す。このフィッティングパラメータ

から評価されたエミッタンスは 10.7

$\pi \text{ mm} \cdot \text{mrad}$ であり、以前から知

られていた値よりかなり大きな値と

なった。この計測を基に実際のビー

ム輸送系で Transfer Matrix 法によ

り Q マグネットの電流を変化させてビーム径の評価を行ったが、計算値と実際の計測結果とは異なるものとなり、エミッタンスの評価がまだ不十分であることが判った。これはビーム径評価にアルミナ蛍光板を使って画像から評価したため、エミッタンスを過大評価したと考えられること、Q マグネットの実効ヨーク長の評価が不十分なことなどが考えられるが、今後さらに調べていく予定である。

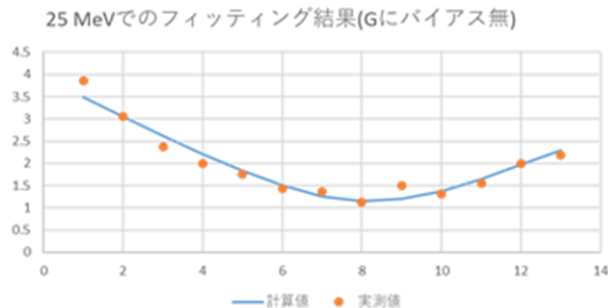


図 5 Q マグネット電流値とビーム短半径との関係

2-2 150 MeVバンド電子ライナック

昨年度クライストロン、モジュレータの 1 組を撤去後、エネルギースペクトル、並びにビームローディングを調べ、撤去前とほぼ同様の仕様で運転可能であることが判った。本年度は年度初めにクライストロンタンク等で PCB 混入が予想される主にコンデンサーの取り換え工事を行った。これに関連し、フレキシブル導波管からの SF6 漏れが確認できたため、以前修理して保管していたものと交換した。一方、この漏れ検査の際、フランジ部での漏れが依然として完全には止まっていない状況で、さらに新たに導波管立体回路のパワースプリッター部分でも漏れを確認した。この漏れの修理は難しく、また交換するにも高額となるため、一応ガス補給の頻度を上げることで対応することにした。

本加速器の主目的である陽電子ビームの生成に関しては、陽電子発生部に使用するモデレーターを新たに製作した。ここで使用するタングステン箔焼鈍用の真空電気炉が故障するトラブルもあったが、修理後 1800 °C 以上で焼鈍を行った後、組み立て、設置した。ビーム制御用に使用していた VXI バスコントローラーが故障していたため修理を行い、正常に動作することを確認した。コイル電源についても動作確認を行い問題が無いことを確認した。一方、真空関係ではアングルバルブからのリークやアルミベローズ配管からのリークがあり、これらを SUS 製のものに交換し 10^{-7} Pa 台の真空度が得られている。今後陽電子発生部の放射線遮蔽を行い、低速陽電子ビーム生成実験を開始する予定である。

2-3 フォトカソード RF 電子銃 S バンドライナック

2-3-1 運転状況

平成 30 年度には、ベータトロン室に設定された「最大エネルギーが 40MeV の RF 電子銃ライナック」を利用したフェムト秒・アト秒パルスラジオリシスの研究、超短パルス電子ビーム発生とフェムト秒電子線パルスによる THz 光の発生研究を行った。フェムト秒・アト秒パルスラジオリシスの研究では、ドデカンの放射線照射による生成されるドデカン励起カチオンラジカルの探索、アルカンの放射線分解初期過程と四塩化炭素の放射線化学初期過程などの研究を展開した。

「MeV 電子顕微鏡」と「小型短パルス電子線発生装置」においては、フェムト秒電子線パルスを利用した超高速電子顕微鏡の開発やフォトカソード RF 電子銃を利用したフェムト秒超短パルスかつ極低エミッタンス電子ビーム発生に関する研究を行った。フェムト秒時間分解電子顕微鏡の研究では、新に超短パルス電子ビームを発生可能な 1.4 セル RF 電子銃の製作、大阪大学超高压電子顕微鏡センターから超高压電子顕微鏡レンズ系の移設を行い、それらを活用した「MeV 電子顕微鏡」装置のアップグレードとテスト運転を行った。今後、ビーム強度の増強、拡大倍率の向上を行うことにより、フェムト秒とナノメートルの時空間分解能を実現すれば、様々な物質における超高速で進行する構造相転移や反応素過程に関する応用研究が期待できる。今年度 2 月までの利用時間数は、RF 電子銃ライナックでは 689 時間、MeV 電子顕微鏡では 362 時間、小型短パルス電子線発生装置では 177 時間、合計 1,200 時間以上であった。

2-3-2 保守および故障の状況

今年度も S バンドフォトカソード RF 電子銃ライナックのモジュレータに使用されている PFN 充電用の 30kV 直流電源 (802OEM-50KV-POS(SN/14M6061L)) 1 台が故障した。故障原因は基盤に取り付けられた“スロースタート抵抗”が断裂していたためであった。交換作業を行った。昨年度にはフェムト秒レーザーのチラーが故障し、新たに代替機種を購入したが、今年度には RF 電子銃を駆動するピコ秒レーザーのチラーも故障した。このチラーも 15 年間使用され、故障原因は寿命だと考えている。新たに代替機種を購入し、交換作業を行った。現在、使用されているピコ秒レーザーとフェムト秒レーザーの本体は 2003 年に購入したものであり、いつ壊れてもおかしくない状況であり更新が急がれる。

2-4 コバルト60照射設備

2-4-1 概要

コバルト 60 ガンマ線密封 RI 線源 3 本を保有し、各線源での γ 線照射の利用が可能となっている。

2-4-2 利用状況

平成 30 年度のコバルト 60 照射施設の利用課題数は 18 件であった。利用状況を表 1 にまとめた。利用件数は増加した。引き続きコバルト 60 線源が広く利用されている。

(平成 31 年 3 月 31 日現在)

部局	利用回数	総利用時間(hrs)
産業科学研究所	66	596:46
レーザー科学研究所	28	52:12
工学研究科	55	1003:14
RI センター	13	4:01
他機関	33	309:40
拠点利用	21	37:55
合計	216	1976:48

表 1 平成 30 年度コバルト 60 照射施設利用状況

2-4-3 装置の維持管理

平成 30 年 5, 11 月に施設自主点検を行った。装置について問題はなかった。大阪北部地震において装置、施設に問題は生じなかった。コバルト照射施設の（外、内壁）改修工事を平成 31 年 1-3 月に行った。コバルト照射施設運転制御システムの総合点検および保守整備を平成 31 年 3 月に行う予定である。

2-5 平成 30 年度 共同利用採択テーマ一覧

2-5-1 共同利用テーマ一覧

採択番号	研究課題	所属	申込者氏名	利用装置
30-A-C1	マイクロ秒ミリ秒パルスラジオリシス法における放射線化学の研究	産研	小林一雄	Lバンド
30-A-C2	ナノ秒領域での量子ビーム誘起化学反応基礎過程	産研	近藤孝文	Lバンド
30-A-C3	EB/EUV 用レジスト高感度化のための高速時間反応に関する研究	産研	近藤孝文	Lバンド コバルト
30-A-C4	放射線化学反応中間体	産研	藤乗幸子	Lバンド コバルト
30-A-C5	放射線照射による遺伝子損傷の分子機構	産研	小林一雄	Lバンド コバルト
30-A-C6	ラジカルイオンの反応性	産研	藤塚 守	Lバンド コバルト

30-A-C7	放射線化学反応活性種	産研	藤塚 守	Lバンド コバルト
30-A-C8	ラジカルイオン光励起状態	産研	藤塚 守	Lバンド コバルト
30-A-C9	水溶液の放射線誘起スパー反応研究	産研	室屋裕佐	Lバンド コバルト RF 電子銃
30-A-C10	フェムト秒・アト秒パルスラジオリシスの研究	産研	近藤孝文	RF 電子銃
30-A-C11	時間分解電子顕微鏡に関する研究	産研	楊 金峰	RF 電子銃
30-A-C12	フォトカソードRF電子銃における低エミッタンス電子ビーム発生に関する研究	産研	楊 金峰	RF 電子銃
30-A-C13	Sバンドライナックを用いた陽電子ビーム生成・利用	産研	誉田義英	S/施設利用
30-A-C14	パルスラジオリシスを用いた放射線化学反応	産研	川井清彦	Lバンド
30-A-D1	Lバンド電子ライナックによるTHz-FELを用いた固体励起状態の研究	産研/摂南大学 他	入澤明典/ 東谷篤志	Lバンド
30-A-D2	V02とCr203における電場や磁場印加金属絶縁体転移機構の偏光THz-FELによる研究	産研/摂南大学	菅 滋正/ 入澤明典	Lバンド
30-A-D3	パルスラジオリシス法による軟X線顕微鏡用レジストの高感度化研究	産研/早稲田大学	近藤孝文/ 鷺尾方一	Lバンド
30-A-D4	高速焦電検出器を用いたTHz自由電子レーザーの特性測定と焦電検出器の性能評価	産研/京都大学	入澤明典/ 全 炳俊	Lバンド
30-A-D5	テラヘルツ自由電子レーザーによるアミロイド線維の照射効果に関する研究	産研/東京理科大学	入澤明典/ 川崎平康	Lバンド
30-A-D6	高強度テラヘルツ自由電子レーザー(FEL)の特性評価とFELダイナミクスの研究	産研/広島大	誉田義英/ 川瀬啓悟	Lバンド
30-A-D7	自由電子レーザーを用いた化学結合状態の2次元評価技術に関する研究	産研/新日鉄住金	入澤明典/ 西原克浩	Lバンド
30-A-D8	超分子の放射線化学	産研/ 九大工 他	藤塚 守/ 大内秋比古 他	Lバンド コバルト

30-A-D9	超短パルス電子ビーム発生と THz 計測	産研/三重大学	菅 晃一/ 松井龍之介	RF 電子銃
30-A-D10	加速器を用いた材料改質と新規機能性材料創製に関する研究	産研/阪大ダイキン	近藤孝文/ 大島明博	施設利用
30-A-D11	電子スピン共鳴 (ESR) 法による γ 線照射効果の研究	産研/神戸大学	藤乗幸子/ 谷 篤史	コバルト
30-A-D12	タンパク質結晶の超高速光誘起キャリアと構造のダイナミクス研究	産研/滋賀医科大学	楊金峰/ 成瀬延康	RF 電子銃
30-A-D13	コバルトからの γ 線を用いた新規機能性材料創製に関する研究	産研/阪大ダイキン	近藤孝文/ 大島明博	コバルト
30-B-1	テラヘルツパワーレーザーを用いた高エネルギー密度新物質の創成	工学研究科	尾崎典雅	Lバンド
30-B-2	放射線反応場を利用したナノ粒子材料の合成	工学研究科	清野智史	コバルト
30-B-3	電離放射線の生体影響の解析	RI センター	清水喜久雄	コバルト
30-B-4	ガンマ線照射における核融合炉材料及び透明材料のダメージ評価	レーザー研	山ノ井航平	コバルト
30-B-5	Lバンドライナックおよびコバルト 60 放射線源を用いた重水素の光核反応中性子発生方向分布測定	レーザー研	有川安信	コバルト Lバンド 施設利用
30-B-6	高分子の放射線照射効果の検討	工学研究科	秋山庸子	コバルト 施設利用

2-5-2 物質・デバイス領域共同研究拠点申込テーマ一覧

採択番号	研究課題	所属	申込者氏名	利用装置
30-J-1	高強度赤外光照射による新規物質創成と新規物性発現	阪大基礎工学研究科	永井正也	Lバンド
30-J-2	高強度テラヘルツ光照射によって誘起される細胞内高分子の構造と細胞機能の解明	理化学研究所	保科宏道	Lバンド
30-J-3	テラヘルツ FEL 誘起非線形光学応答の研究	レーザー科学研究所	中嶋 誠	Lバンド
30-J-4	高強度テラヘルツ光照射による分子間相互作用の非線形励起と制御	量子科学技術研究開発機構	坪内雅明	Lバンド
30-J-5	生体高分子反応系への高強度テラヘルツ光照射	京都大学	小川雄一	Lバンド
30-J-6	テラヘルツ自由電子レーザーによる材料の光電界加工に関する基礎研究	京都大学化学研究所	橋田昌樹	Lバンド
30-J-7	シンチレーションの前駆励起状態のパルスラジオリシスによる観測	東北大学	越水正典	Lバンド
30-J-8	高分子系飛跡検出器内の放射線損傷形成機構	神戸大学	山内知也	Lバンド コバルト
30-J-9	ラジカルイオンの結合解離過程の研究	群馬大学	山路 稔	Lバンド コバルト
30-J-10	量子ビーム誘起による有機・無機ナノ構造形成機構の解明と応用	北海道大学	岡本一将	Lバンド コバルト
30-J-11	パルスラジオリシス法を用いた非均質反応場等での過度現象に関する研究	日本原子力研究開発機構	永石隆二	Lバンド RF 電子銃
30-J-12	蛍光性物質を利用した、時空間分解ダイナミック線量測定システムの開発	埼玉大学	若狭雅信	RF 電子銃