

平成30年度  
**卓越大学院プログラム プログラムの基本情報** [採択時公表。ただし、項目11、12については非公表]

機関名	早稲田大学	機関番号	32689
1. 全体責任者 (学長)	※ 共同申請のプログラムの場合は、全ての構成大学の学長について記入し、申請を取りまとめる大学 (連合大学院によるもの場合は基幹大学)の学長名に下線を引いてください。 (かまた かおる) (ふりがな) 氏名・職名 鎌田 薫・早稲田大学 総長		
2. プログラム責任者	(はしもと しゅうじ) (ふりがな) 氏名・職名 橋本 周司・早稲田大学 副総長		
3. プログラム コーディネーター	(はやし やすひろ) (ふりがな) 氏名・職名 林 泰弘・早稲田大学 先進理工学研究科 先進理工学専攻 教授		
4. 設定する領域	最も重視する領域 【必須】	③将来の産業構造の中核となり、経済発展に寄与するような新産業の創出に資する領域	
	関連する領域(1) 【任意】	②社会において多様な価値・システムを創造するような、文理融合領域、学際領域、新領域	
	関連する領域(2) 【任意】	※領域を選択	
	関連する領域(3) 【任意】	※領域を選択	
5. 主要区分	最も関連の深い区分 (大区分)	C	
	最も関連の深い区分 (中区分)	21	電気電子工学およびその関連分野
	最も関連の深い区分 (小区分)	21010	電力工学関連
	次に関連の深い区分 (大区分)【任意】	E	
	次に関連の深い区分 (中区分)【任意】	36	無機材料化学、エネルギー関連化学およびその関連分野
	次に関連の深い区分 (小区分)【任意】	36020	エネルギー関連化学
6.	プログラム名称	パワー・エネルギー・プロフェッショナル育成プログラム	
	英語名称	Graduate Program for Power Energy Professionals	
7. 授与する博士学 位分野・名称	博士(工学)、博士(理学)、博士(情報科学)、博士(学術)		
8. 学生の所属する 専攻等名  (主たる専攻等がある場 合は下線を引いてくださ い。)	[早稲田大学]先進理工学研究科 先進理工学専攻/応用化学専攻/電気・情報生命専攻/ナノ理工学専攻、基幹理工学研究科 機械 科学専攻/電子物理システム学専攻、環境・エネルギー研究科、[北海道大学]情報科学研究科 システム情報科学専攻、[東北大学]工学研 究科 電気エネルギーシステム専攻、[福井大学]工学研究科 電気・電子工学専攻(前期課程)/総合創成工学専攻電子システム分野(後期課 程)、[山梨大学]医工農学総合教育部 工学専攻グリーンエネルギー変換工学特別教育プログラム(前期課程)/エネルギー物質科学コースグリーンエネ ルギー変換工学分野(後期課程)、[首都大学東京]都市環境科学研究科 都市環境科学専攻環境応用化学域、[横浜国立大学]理工学 学府 化学・生命系理工学専攻/数物・電子情報系理工学専攻、[名古屋大学]工学研究科 電気工学専攻、[大阪大学]工学研究 科 電気電子情報工学専攻、[広島大学]工学研究科 システムインテリジェンス専攻、[徳島大学]先端技術科学教育部 システム創生工学専攻 電気電子創生工学コース、[九州大学]システム情報科学府 電気電子工学専攻、[琉球大学]理工学研究科 電気電子工学専攻(前期課 程)/生産エネルギー工学専攻(後期課程)/総合知能工学専攻(後期課程)		
9. 連合大学院又は共同教育課程による申請の場合、その別	※該当する場合には○を記入		
	連合大学院		共同教育課程
10. 連携先機関名(他の大学、民間企業等と連携した取組の場合の機関名、研究科専攻等名)	北海道大学、東北大学、福井大学、山梨大学、首都大学東京、横浜国立大学、名古屋大学、大阪大学、広島大学、徳島 大学、九州大学、琉球大学、テネシー大学ノックスビル校、シカゴ大学、ワシントン大学、清華大学、チュラロンコン 大学、ミュンヘン工科大学、パワーアカデミー、電力中央研究所、産業技術総合研究所、JXTGエネルギー		

(機関名:早稲田大学 プログラム名称:パワー・エネルギー・プロフェッショナル育成プログラム)

13. プログラム担当者一覧				
氏名	フリガナ	機関名・所属(研究科・専攻等)・職名	現在の専門学位	役割分担 (平成30年度における役割)
(プログラム責任者) 橋本 周司	ハシモト シュウジ	早稲田大学・副総長	計測・情報工学 工学博士	プログラム全体統括
(プログラムコーディネーター) 林 泰弘	ハヤシ テヒロ	早稲田大学・先進理工学研究科 先進理工学専攻・教授	電力システム工学 博士(工学)	統括、プログラム全体推進
本間 敬之	ホンマ ケイキ	早稲田大学・教務部・副部長 (同大学・先進理工学研究科 応用化学専攻・教授)	機能表面化学 博士(工学)	副統括、プログラム全体推進
石井 英雄	イシイ ヒデアキ	早稲田大学・ スマート社会技術融合研究機構・ 研究院教授	分散型エネルギー 資源の統合 博士(工学)	外部連携推進統括、プログラム事業推進
朝日 透	アサヒ トオル	早稲田大学・先進理工学研究科 先進理工学専攻・教授	生物物性 科学、 キラル科学 博士(理学)	5年一貫専攻における教育、キャリア支援
天野 嘉春	アマノ ヨシハル	早稲田大学・基幹理工学研究科 機械科学専攻・教授	エネルギー システム工学 博士(工学)	海外連携推進
有村 俊秀	アムラ トシヒデ	早稲田大学・経済学研究科・教授	環境経済学 Ph. D. in Economics	カリキュラム開発
石山 敦士	イシヤマ アツシ	早稲田大学・理事 (同大学・先進理工学研究科 電気・情報生命専攻・教授)	電気工学 工学博士	研究教育戦略
大木 義路	オホキ ヨシチ	早稲田大学・先進理工学研究科 電気・情報生命専攻・教授	電気電子材料 工学博士	海外連携推進
小柳津 研一	コヤヅ ケンイチ	早稲田大学・先進理工学研究科 先進理工学専攻・教授	高分子化学 博士(工学)	大学院改革、5年一貫専攻における教育
川上 智子	カガミ トモコ	早稲田大学・経営管理研究科・教授	マーケティング イノベーション 博士(商学)	質保証、イノベーション教育
川原田 洋	カワハラ ヒロシ	早稲田大学・基幹理工学研究科 電子物理システム学専攻・教授	電気電子工学、 電子デバイス 工学博士	企業連携推進
草鹿 仁	クサカ ジン	早稲田大学・環境・エネルギー 研究科・教授	機械工学 博士(工学)	企業連携推進
黒川 哲志	クロカワ テロシ	早稲田大学・社会科学研究科・教授	環境法 博士(法学)	カリキュラム開発
黒田 一幸	クロダ カズユキ	早稲田大学・先進理工学研究科 応用化学専攻・教授	無機物質化学 工学博士	海外連携推進
庄子 習一	シヨウジ シユウイチ	早稲田大学・先進理工学研究科 ナノ理工学専攻・教授	電子工学、 計測工学 工学博士	企業連携推進
関根 泰	セキネ ヤスシ	早稲田大学・先進理工学研究科 先進理工学専攻・教授	触媒化学、 資源化学 博士(工学)	5年一貫専攻における教育、企業連携推進
田中 幹人	タナカ ミキト	早稲田大学・政治学研究科・准教授	科学社会学 博士(学術)	広報、カリキュラム開発
多辺 由佳	タベ ユカ	早稲田大学・先進理工学研究科 先進理工学専攻・教授	ソフトマター 物理 博士(工学)	5年一貫専攻における教育、キャリア支援

(機関名：早稲田大学 プログラム名称：パワー・エネルギー・プロフェッショナル育成プログラム)

## 13. プログラム担当者一覧（続き）

氏名	フリガナ	機関名・所属(研究科・専攻等)・職名	現在の専門学位	役割分担 (平成30年度における役割)
野田 優	ノダ ユウ	早稲田大学・先進理工学研究科 応用化学専攻・教授	化学工学、 材料プロセス 博士(工学)	企業連携推進
人見 剛	ヒトミ タケシ	早稲田大学・法務研究科・教授	行政法、 地方自治法 博士(法学)	カリキュラム開発
牧 兼充	マキ カネカ	早稲田大学・経営管理研究科・ 准教授	テクノロジー マネジメント Ph. D. in Management	質保証、イノベーション教育
松方 正彦	マツカタ マサヒコ	早稲田大学・先進理工学研究科 応用化学専攻・教授	膜分離工学、 触媒化学 工学博士	企業連携推進
松永 康	マツナガ ヤスシ	早稲田大学・研究戦略センター・ 教授	プラズマ科学、 研究戦略・ 評価 博士(理学)	研究教育戦略
村田 昇	ムラタ ノボル	早稲田大学・先進理工学研究科 先進理工学専攻・教授	数理工学 博士(工学)	5年一貫専攻における教育、キャリア支援
Rademacher, Christoph	ラデーマッハ クリストフ	早稲田大学・法学研究科・准教授	知的財産権法 Dr. iur.	カリキュラム開発
若尾 真治	ワカオ シンジ	早稲田大学・先進理工学研究科・ 研究科長(同研究科 電気・情報生命専攻・教授)	電気工学 博士(工学)	大学院改革
北 裕幸	キタ ヒロユキ	北海道大学・情報科学研究科・ 研究科長(同研究科 システム情報科学専攻・教授)	電力系統工学 博士(工学)	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
斎藤 浩海	サイトウ ヒロウミ	東北大学・工学研究科 電気エネルギーシステム専攻・教授	電力システム 工学 工学博士	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
津田 理	ツタ マコト	東北大学・工学研究科 電気エネルギーシステム専攻・教授	電気エネルギー システム工学、 超電導工学 博士(工学)	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
田岡 久雄	タカ ヒサオ	福井大学・学術研究院工学系部門 電気・電子工学講座・教授	電力システム工学 工学博士	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
内田 裕之	ウチダ ヒロユキ	山梨大学・総合研究部・教授	電気化学、 物理化学 工学博士	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
宮武 健治	ミヤタケ ケンジ	山梨大学・総合研究部・教授	高分子科学 博士(工学)	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
川上 浩良	カガミ ヒロヨシ	首都大学東京・学長補佐(同大学・ 都市環境科学研究科・教授)	高分子化学 工学博士	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
大山 力	オオヤマ ツトム	横浜国立大学・理工学府 数物・電子情報系理工学専攻・教授	電力システム工学 工学博士	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
光島 重徳	ミツシマ シゲノリ	横浜国立大学・工学研究院・教授	応用電気化学 、エネルギー化学 博士(工学)	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
渡邊 正義	ワタナベ マサヨシ	横浜国立大学・工学研究院・ 研究院長(同・教授)	有機材料化学 、電気化学 工学博士	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
早川 直樹	ハヤカワ ナオキ	名古屋大学・工学研究科 電気工学専攻・教授	電力工学 工学博士	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
舟木 剛	フナキ ツヨシ	大阪大学・工学研究科 電気電子情報工学専攻・教授	パワーエレクトロニクス 博士(工学)	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
餘利野 直人	ヨリノ ナオト	広島大学・工学研究科 システムサイバネティクス専攻・教授	電力系統工学 工学博士	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
北條 昌秀	ホシヅメ ヨシヒデ	徳島大学・先端技術科学教育部 システム創生工学専攻電気電子創生工学コー ス・教授	電力系統への パワーエレクトロニクス 応用 博士(工学)	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発

(機関名：早稲田大学 フリガナ名称：パワー・エネルギー・プロフェッショナル育成プログラム)

## 13. プログラム担当者一覧（続き）

氏名	フリガナ	機関名・所属(研究科・専攻等)・職名	現在の専門学位	役割分担 (平成30年度における役割)
末廣 純也	スエヒロ ジュンヤ	九州大学・ システム情報科学研究所・教授	静電気応用 工学 博士(工学)	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
千住 智信	センジュウ トモフミ	琉球大学・工学部工学科 電気システム工学コース・教授	電力システム 工学、 パワーエレクトロニクス 博士(工学)	大学間連携推進、質保証、カリキュラム開発
Tomsovic, Kevin	トムソヴィック ケヴィン	CTI Professor, Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, Univ. of Tennessee Knoxville	Electrical Engineering- Specializing in Power System Ph. D.	海外連携機関として教育研究協働
Rowan, Stuart	ロワン スチュアート	Barry L. MacLean Professor, Inst. for Molecular Engineering and Dept. of Chemistry, Univ. of Chicago	Organic Chemistry Ph. D.	海外連携機関として教育研究協働
Schwartz, Daniel	シュワルツ ダニエル	Boeing-Sutter Professor, Dept. of Chemical Engineering, Univ. of Washington	Electro- chemical Engineering Ph. D.	海外連携機関として教育研究協働
Zhu, Guiping	ズー グァピェン	Associate Professor, Dept. of Electrical Engineering, Tsinghua Univ.	Energy Storage Ph. D.	海外連携機関として教育研究協働
Hoonchareon, Naebboon	フーンチャレオン ナエブーン	Associate Professor, Dept. of Electrical Engineering, Chulalongkorn Univ.	Power and Energy System. Smart Grid Ph. D.	海外連携機関として教育研究協働
Jacobsen, Hans-Arno	ヤコブセン ハンス-アルノ	Professor, Dept. of Informatics, Technical Univ. of Munich	Application and Middleware Systems Ph. D.	海外連携機関として教育研究協働
梅田 健司	ウメダ ケンジ	パワーアカデミー・事務局・部長	電力工学 学士	連携機関として教育研究協働
井上 俊雄	イノウエ トシオ	(一財)電力中央研究所・ システム技術研究所・所長	電力系統の 周波数変動の 解析と制御 博士(工学)	連携機関として教育研究協働
大谷 謙仁	オオタニ ケンジ	(国研)産業技術総合研究所・ 再生可能エネルギー研究センター エネルギーネットワークチーム・ 研究チーム長	太陽光発電 システムの 高度制御技術 工学修士	連携機関として教育研究協働
真崎 仁詩	マサキ ヒトシ	J X T Gエネルギー(株)・ 中央技術研究所・フェロー	工業化学 工学博士	連携企業として教育研究協働

(機関名：早稲田大学 フリガナ名称：パワー・エネルギー・プロフェッショナル育成プログラム)

平成30年度  
卓越大学院プログラム 計画調書

[採択時公表]

## (1) プログラムの全体像【1 ページ以内】

(申請するプログラムの全体像を1 ページ以内で記入してください。)

持続可能な社会創造に向け、人類活動の基盤である電力・エネルギーインフラは、劇的に姿を変貌していくこととなる。これまでは大規模発電所で作る電力を如何に効率的に国土の隅々まで送り届けるかを軸に構築されてきた。しかし、再生可能エネルギーへの重心移動に伴い、小規模分散化された需要家側設備(太陽光発電、蓄電池、電気自動車等)からの電力供給に対応し、エネルギー流の双方向化と情報通信でのデジタル化が一層進展したエネルギーネットワークシステムを如何に最適化するか、という従来の常識を超えた電力・エネルギーインフラへの変革が必要となる。本申請プログラムは、この機を捉え政府戦略 Society5.0 のコアである「エネルギーバリューチェーンの最適化」による新産業創出を様々なセクターで主導する「知のプロフェッショナル」を輩出するため、5 年一貫の博士人材育成プログラム「パワー・エネルギー・プロフェッショナル(PEP) 育成プログラム」を創始するものである。PEP 育成プログラムは、未来社会をデザインする高度な「知のプロフェッショナル」の人材像として、①新エネルギーシステムイノベーター、②新エネルギー事業創出イノベーター、③グローバル・エネルギーイノベーターを掲げ、これらの人材を育成する取組として、1) 電力・エネルギー分野全体の課題・ビジョンの共通理解に基づく全国主要大学間連携体制の構築、2) 能動的に機能し刺激し合う産学官連携の推進、3) 社会実装を見据えた異分野融合教育の実施、4) 技術の国際的相互運用性の追求と標準化の推進、5) 外部資金研究と一体化した博士人材育成の仕組みの構築、に挑戦する大学院教育改革の先駆モデルとなる。

本プログラムでは、未来のエネルギーバリューチェーンを、現象の最小単位である電荷から巨大電力ネットワークシステムまでの新価値の連鎖として捉える。電荷の制御をナノスケールのレベルで実現する再生可能エネルギー電源や蓄電池等により高機能な分散型パワーリソースを生み出すマテリアル分野と、これらリソース機器群を予測・解析により最適に統合制御・運用する電力システム分野の教育を一貫通貫の単一課程として用意することが最大の長である。さらに、これらによる技術イノベーションに加え、国連の SDGs に貢献し、多数のプレーヤーが活躍できる制度設計や小規模需要家間電力取引等、従来にない付加価値を“Energy as a Service”の視点からビジネスとして結実させる社会的イノベーションを両輪として目指す新たな学理「パワーリソース・オプティマイズ」を打ち立て、体系的な教育研究プログラムとして具現化するものである。プログラムの卓越性、国際的な視点からの優位性を実現するため、「電力・エネルギー分野で実績のある全国 13 国公立大学が連携」、「国内全 10 電力会社、最大規模石油・化学会社、最大規模ガス会社からなるエネルギーの圧倒的なシェアを有する電力・エネルギーインフラ企業連合の参画」、「海外の一流の大学・研究機関の参画」、「国際標準化で優位性を持つ産学連携研究組織・実証研究センターでの教育」による、最高水準の人的・物的リソースの集結とそれらを体系的に連携させた統合スキームを組み込む。学生が国内外に広がるインターユニバーシティの環境の中で切磋琢磨しながら、イノベーションによって電力・エネルギーインフラを未来の人類活動に盤石なものに仕上げ、同時に国内外の様々な分野の専門家と協働で価値創造を先導するための素養として、深い専門力、広い俯瞰力、強い融合力、国際連携力、共同研究力、産業創出力の6つの力を修得できる教育研究プログラムを構築する。本プログラムの柱として、①電力・エネルギー分野のグランドビジョン・政策と学の先見性を融合させた学生の研究テーマ設定と学生の主体的研究参画、②連携大学教授陣を結集した国際標準化教育など本プログラム独自の必修・選択科目・演習の設置、③人社会教授陣による制度構築・ビジネス創出に焦点を当てた国際水準の講義・演習、④世界トップの研究機関でのインターンシップや研究、⑤学生が相互参画するインターユニバーシティ体制の構築、を實踐する。

マネジメントの視点からは、学生に対し RA 費など生活費相当額を支援することにより学修・研究への責任意識を醸成し、試験による学生選抜(SE)、2 年終了時に認定審査(QE)、5 年終了時に修了審査(FE)を卓越人材育成の理念に適合した評価基準のもとで実施する。また、連携企業等の意欲・能力が高い社会人の博士号取得を積極的に推奨し、業務との統合が容易なプログラム構成とする。PDCA サイクルを確実に実行するために、本プログラムがこれまでの課題を克服し目指す人材育成がなされているかを定量化する指標を設定する。ルーブリック評価を取り入れて学生の到達度を逐次可視化し、効果的なフィードバックにより修了要件達成を確実にする。さらに、修了生の進路、実業でのアウトカムをフォローアップする仕組みを組込む。加えて米ワシントン大学と共同開発したオンデマンド型 FD プログラムの受講を全プログラム担当教員にも課し、世界水準で教育の質の向上を図る。

PEP 育成プログラムは、高度な「知のプロフェッショナル」を輩出する仕組みを継続及び発展させる必要があるが、13 連携大学のハブとなる早稲田大学が総長の責任のもとでイニシアチブを執り、マネジメント委員会・運営委員会・連携協議会を設置して、教職員人事、プログラム質保証、設備環境含めた教育研究の実働体制を整備し、本学はもとより連携大学の大学院改革への波及を図る。また、自己資金を計画的に運用してプログラムの価値を高め、産業界との新しいパートナーシップを築いて、当該プラットフォームが自立運営できる基盤を固める。

ポンチ絵は不要です。

## (2) プログラムの内容【4ページ以内】

(国内外の優秀な学生を、高度な「知のプロフェッショナル」、すなわち、俯瞰力及び独創力並びに高度な専門性を備え、大学や研究機関、民間企業、公的機関等のそれぞれのセクターを牽引する卓越した博士人材へと育成するため、国際的に通用する博士課程前期・後期一貫した質の保証された学位プログラムを構築・展開するカリキュラム及び修了要件等の取組内容を記入してください。また、人材育成上の課題を明確にした上で、その課題解決に向け検証可能かつ明確な目標を、プログラムの目的にふさわしい水準で設定し、さらに、目標の達成のために申請大学全体の大学院システムをどのように変革するかを明確に記入してください。)

### 1. 電力・エネルギーインフラの構造変化と時代が求める卓越した博士人材の育成

日本の電力安定供給技術は世界第1位(1軒あたりの年間停電回数0.13回)であり、世界トップの省エネ技術とそれを支える先進的なエネルギーデバイス・機能材料製造を産学官の先達が創り出してきた。その一方、エネルギー消費は世界第5位でありながら、資源小国の帰結としてエネルギー自給率は僅か6%(2014年OECD34ヶ国中33位)である。このような中、日本は、地球温暖化防止に向け、パリ協定において2030年に温暖化ガス排出量26%削減、さらに2050年には80%削減(2013年度比)という、現状の延長線上では達成不可能な数値目標を国際公約に掲げている。こうした大目標の先に持続的発展が可能な社会の実現を見据え、エネルギー自給率向上の視点からも、あらゆる社会活動のエネルギー源として太陽光や風力など再生可能エネルギーへの転換が求められる。その帰結として、蓄電池、電気自動車など分散型パワーリソースが普及し、電力・エネルギーインフラは「大規模/集中/長距離単一方向」から「デジタル化/小規模・大量/分散統合/短距離双方向」という未踏の姿に変貌していくこととなる。

以上のような国家的課題、そして誕生後初となる電力・エネルギーインフラの構造変化を絶好の好機ととらえ、技術イノベーションによって従来線上にないエネルギーシステムの抜本的変革を起こすことはもとより、様々なプレーヤーの参入を促し、これまで十分になされなかった電力・エネルギーに関する新ビジネスの創出、海外展開の同時達成を担う人材を育成する仕組みを構築することは、国家戦略として極めて重要であることは論を待たない。日本は、電力・エネルギーの安定確保と環境対応、さらには新産業創出による経済成長を並立させ、Society5.0(超スマート社会)やCOP21パリ協定、国連のSDGs等に掲げるエネルギー未来社会を実現する超最先端のエネルギーインフラ技術で世界を先導し、途上国のインフラ革新も含め、人類全体の持続的な発展への貢献に資する成功モデルを国際社会に示せる唯一の国である。分散型パワーリソースは、電力ネットワークに物理的・電氣的にセンサーを介して接続され、通信により情報的に相互につながり、様々なデータを交換・共有するとともに、それぞれのパワー入出力を制御することが可能な“サイバーフィジカルシステム”を構成する。時々刻々得られるエネルギービッグデータをもとにAIも最大限活用しながら、システム全体として環境価値、経済価値等から定量尺度を与え、最適化を行うマネジメントを可能とする方法論、システム、ルールを構築することが求められていく。そのため、深い技術的専門性を持つ人材をマテリアル、システム、情報の各分野で育成し、同時に制度設計、事業創造等の人社系領域の素養を幅広く身につけさせる必要があるが、既存の理工系大学院教育では成しえない。博士前期・後期課程の5年間をフルに活用し、確固たる人材像に沿った体系的エリート教育プログラムを新たに構築する必要がある。

このような背景、対象、学問的理念、人材像に基づき新たに「パワーリソース・オプティマイズ」と呼称する学理を構築し、この上に5年一貫の博士人材教育研究プログラムを確立し、電力・エネルギー分野の〈深い専門力〉、〈広い俯瞰力〉、〈強い融合力〉、〈国際連携力〉、〈共同研究力〉、〈産業創出力〉の6つの力を培い、人類社会における電力・エネルギー分野の課題解決と新産業創出に資するイノベーションを牽引する高度な「パワー・エネルギーの知のプロフェッショナル」を育成する。人材育成のゴールとして、Society5.0での最適なエネルギー価値の連鎖を創造し新産業創出に貢献している状況を掲げる。この到達を目指し、本プログラムでは、13国公立大学による電力工学系のハード・ソフトの専門教育とマテリアル系の蓄電・創電の専門教育、ならびにエネルギーイノベーションに資する人社系教育により、深い専門力、広い俯瞰力、強い融合力を養成する。同時に、産学連携や海外での実践的な研究教育、異分野異業種の新産業創出教育、国際標準化教育等を通して共同研究力、産業創出力、国際連携力を養成する。これらの課題解決能力を備えて社会で活躍する人材像を以下に示す。

### 2. 「国づくりのエネルギー」を支える電力・エネルギー分野で育成すべき人材像

**人材像①新エネルギーシステムイノベーター**：多様な単位(デバイスから都市まで)での高効率な再生可能エネルギー創製・利活用を標榜し、ゲームチェンジングなマテリアル革新と融合システム革新に必要な技術を統合的に組み上げることができる人材(モノづくりのプロ、技術のプロ)

**人材像②新エネルギー事業創出イノベーター**：高効率再生可能エネルギー創製・利活用システムを実装するために必要な調査から技術開発、実証、導入、検証にあたり省庁・協働企業などと交渉し、電力・エネルギーの新価値を創出する新事業を具現化できる人材(コトづくりのプロ、事業創出のプロ)

**人材像③グローバル・エネルギーイノベーター**：「国づくりのエネルギー」としての「3E+S」の観点から、「モノづくり」と「コトづくり」の専門力と経済・制度・社会の俯瞰力との融合で自立型電力・エネルギーシステム社会へと日本を変革し、国際社会へ波及させ世界を牽引できる人材(国際標準化のプロ)

これらの人材が人的ネットワークを構築し、各組織において周囲との理念の共有と新たな協力の獲得によりプロジェクトを成功させ、技術と社会のイノベーションを次々に生み出す「リアルイノベーター」として活躍する。小さなイノベーション連鎖が大きなイノベーションへと波及し、新産業創出によ

る電力・エネルギーの安定供給と環境対応、経済成長が並立するエネルギー未来社会を目指す。

しかしながら、上記の人材を育成するためには、専門性のみならず俯瞰力・融合力を体得する新たな教育研究プログラムを構築する必要があり、以下の課題が存在する。

### 3. 電力・エネルギーインフラ分野で克服すべき5年一貫博士人材育成上の5つの課題

#### 課題①: 大学間・専攻間の教育研究連携体制の壁

電力・ガス・石油・化学会社との共同研究は伝統的に各大学研究者が個別に実施し、知見の分散化、研究教育内容の固定化、大学間での研究テーマの重複につながった。また、各大学において専攻縦割りのカリキュラムで大学院教育を実施してきたため、俯瞰的視野を持つ人材を育て難かった。さらに、大学間の壁、研究科間の壁があり、教員間の人的ネットワークによるボトムアップ型連携だけでは、電力・エネルギー分野で横断するような教育研究の分散知の統合化・体系化には至らなかった。

#### 課題②: エネルギーインフラ企業連合と大学連合との課題共有と教育研究のための連携体制の不足

日本の電力、石油、ガス業界は太陽光発電、蓄電池、電気自動車等の多様なエネルギーリソースの普及、各種エネルギー・環境制度の変化、ネガワット(削減電力)の事業化、急速に進化する情報通信技術の浸透等、世界と同様にかつてない状況に突入している。今後これらの企業は総合エネルギー事業へと変貌をとげ、素材・機器レベルからシステム全体に亘るエネルギーバリューチェーンにおけるポジショニングとサービス創出を学の知との協働で模索して行かなければならない。世界をリードするエネルギー産業を築く知のプロフェッショナルを輩出するためには、エネルギーインフラ主要企業連合と組織的連携体制を構築し、ビジョン共有に即した教育研究テーマ設定等の反映を行える仕組みが必要である。

#### 課題③: 電力・エネルギーインフラを軸とした新産業創出に資する異分野融合教育プログラムの不足

電力・エネルギーインフラにおける新産業創出のためには、既存の電気、ガス、石油のエネルギー事業において、技術の壁、発想の壁、制度の壁、事業化の壁を打破する力が必要である。このための能力を短期間に養うには、電力・エネルギー分野での新産業創出に焦点を絞り人社系分野の知見をフルに取り入れ、体系的・実践的に知識を修得する次世代の異分野融合教育プログラムが求められている。

#### 課題④: 電力・エネルギー分野の国際標準化の教育プログラムの欠如

海外ビジネス展開においては、規制・基準、製品規格等を国際標準に準拠させることが必須であり、途上国対象には不可欠な要素となる。適用物質の環境適合性に対する欧 RoHS 指令や機器・システム間通信の相互運用性(インターオペラビリティ)など、製品製造やシステム構築の基本として理解することはもとより、ハイレベルのモノづくり、高品質な製品など、日本の強みを活かした国際標準化を戦略的に推進することは、国際競争力を高める上で極めて重要である。このような国際標準化の素養を付与する教育研究プログラムはこれまで存在しなかった。

#### 課題⑤: 博士人材育成と外部資金を一体化した持続可能な5年一貫博士人材育成スキームの必要性

欧米では、共同研究費等の予算で世界中から優秀な博士人材を獲得し、産学連携の研究成果をあげる仕組みが機能している。日本ではこの面で大幅な遅れがあり、インフラを支える電力・エネルギー分野において、外部資金によるRA費等の供与で博士課程のインセンティブを高める仕組みを構築する必要がある。そのためには、産学官でエネルギー新産業創出に資する研究の実施と博士人材育成を同時に行うことの重要性を共有し、博士人材教育を継続的に実施できるスキームを構築する必要がある。

上記の課題①～⑤の克服に挑戦するために、6つの課題解決能力の養成を軸としたインターユニバーシティ型の5年一貫の博士人材育成プログラム「パワー・エネルギー・プロフェッショナル(PEP)育成プログラム」を提案する。電力・エネルギー分野を横串とした主要13大学によるオールジャパンの教育研究連携により、各大学がこれまで蓄積してきた教育研究の独創的成果を共有・展開し、最大限の相乗効果と波及効果を生み出す。

### 4. 博士課程5年一貫した質の保証された学位プログラムを構築・展開するカリキュラム

本プログラムにおけるカリキュラムでは、全国13国公私立大学での博士5年一貫統合教育を「パワーリソース・オプティマイズ」の学理のもとでマテリアルからシステムまでの領域で実現するために、図1に示すように、博士課程前期と後期の連続年次をTD1年～TD5年として5年一貫で定義し、早稲田大学に共通の学籍を用意し、本プログラム生が相互の大学の壁を越えて同一環境で履修できるインターユニバーシティ型の必修科目(「卓越必修科目」と定義)を7科目設置する。本申請プログラムでは、この卓越必修科目とTD1～2年で履修すべき専門の科目群(「卓越専門選択科目」と定義)、それ以外の選択科目(「卓越俯瞰選択科目」と定義)ならびに、共同研究を最大限活用する5年一貫の研究指導を柱として、前述の課題を克服するためのカリキュラムを構築する。オンデマンドコンテンツおよびディスカッションツールの構築により、時間的・地理的制約を解消する。卓越必修科目、卓越専門選択科目、卓越俯瞰選択科目の特徴、ならびに、修了要件等の取組内容を以下に示す。

◎卓越必修科目: パワーリソース・オプティマイズの学理や次世代エネルギー社会のデザインと創出に必要な専門力、融合力、俯瞰力を体得するため、連携13大学理工系教員による「パワーリソース・オプティマイズ講義(初級・上級)」、本学の人社系教員による「エネルギーイノベーションの社会科学」「事業創造演習」、また連携先企業による「電力・エネルギーマテリアル現場演習」「高度技術外部実習(初級・上級)」を全13大学の必修科目として設置する。講義と演習において新産業創出に資する国際標準化教育をEMS新宿実証センター((3)3.参照)で実施する。事業創造演習では合宿形式で時間をかけ集中

的に白熱した演習を実施する。異分野の学生がチームを組み講義で得た知見を各専門分野での課題解決を提案し、他チーム学生や教員からの意見や評価の記録に基づき、系統的に成長度合いを把握し研究活動に活かす。高度技術外部実習では、学生が電力中央研究所や産総研福島再生可能エネルギー研究所等の専門家からの指導を受け、新産業創出に資する高度な専門技術を修得する。

◎**卓越専門選択科目**：パワーリソース・オプティマイズの学理を学ぶための深い専門力(土台)を身に付けるため、電力系学生は電力機器系(ハード)と予測・運用・制御系(ソフト)の専門科目群、エネルギーマテリアル系学生は物性・材料・プロセスの基礎と応用の専門科目群を「卓越専門選択科目」として履修する。連携大学は各々の個性を活かしつつ、本プログラムの後述するポリシーのもとで実施する。

◎**卓越俯瞰選択科目**：通常の博士課程で求められるような専門力を超える多様な能力を育成するための選択科目として、海外での研究機関実習、企業インターンシップ、ラボローテーション、リーダーシップ科目、AI・IoT基礎講義、人社系基礎講義などを「卓越俯瞰選択科目」として設置する。学生の伸ばしたい能力や希望するキャリアに応じて、柔軟に履修できるようにする。

◎**研究指導**：産学連携や海外での実践的研究を進める中で、指導教員に加え、理工系異分野教員、人社系教員、連携大学教員、コンサルティング教員(企業在籍者)等による重層的な教育研究指導を行い、6つの力を養成しつつ、成果の一環として国際会議等において連携機関との共著論文1報以上を課す。

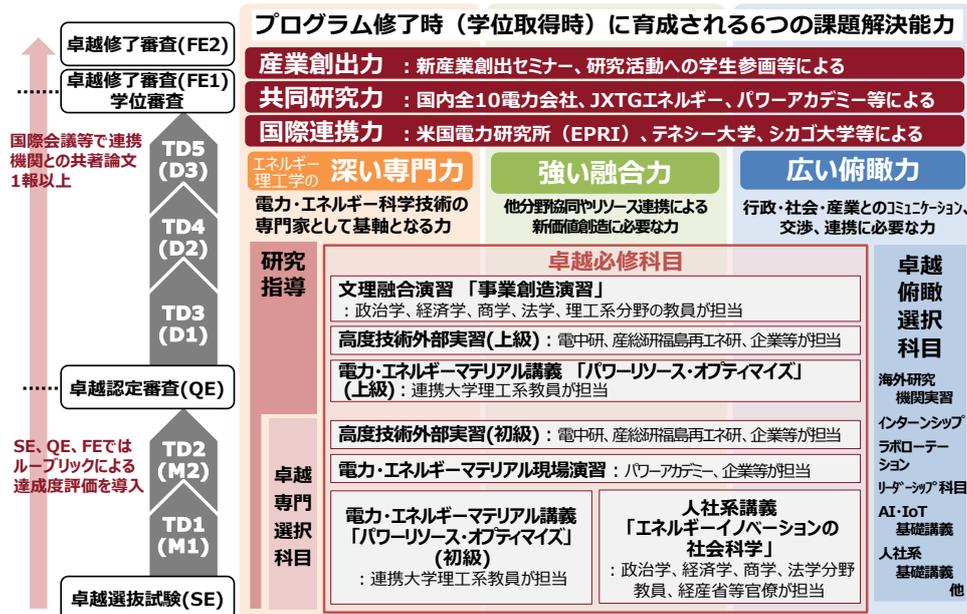


図1 5年一貫制博士教育プログラムの概要

**5. 教育の質保証の取組内容**

◎**卓越選抜試験(SE)**：本プログラムの理念に従い電力・エネルギー分野でリーダーとして世界的に活躍できる研究者・技術者を養成する。このため、書面審査、研究背景・成果・志望動機のプレゼンテーションおよび口頭試問により**専門基礎知識の修得を審査**する。

◎**卓越認定審査(QE)**：卓越科目合計30単位以上の履修と学術論文1報以上の投稿を受験資格とし、1時間以上の口頭試問によりアウトプットとして**研究背景、研究の達成状況、QE合格後の研究計画**を、アウトカムとして**事業性・社会的意義を審査**する。審査には**コンサルティング教員**も加わり、産業界の視野から学生を指導する。なお、1回に限り再審査を可とする。

◎**卓越修了審査1(FE1)**：学位審査においてマテリアルからシステムにわたる電力・エネルギー分野の高度な専門研究力を有していることを審査する。審査には他機関のプログラム担当者が参画する。

◎**卓越修了審査2(FE2)**：次世代エネルギー社会のデザインと創出に必要な融合力と俯瞰力を体得し、国際的に通用する電力・エネルギー分野の課題解決に資する学識と能力を身につけていることを審査により確認する。卓越科目合計45単位以上(卓越必修科目10単位、卓越専門選択科目15単位以上、卓越俯瞰選択科目5単位以上)の履修と学術論文複数報(国際会議等での連携機関との共著論文1報以上を含む)を審査資格とし、ルーブリック指標で自己評価およびピア評価を行い、口頭試問でアウトカムとして**研究の事業性・社会的意義を審査**する。審査には**コンサルティング教員**も参画する。合格者には卓越修了認定証を授与する。

13大学共通のアドミッションポリシー・カリキュラムポリシー・ディプロマポリシーを用意し、上記SE・QE・FEを共通要件の下で実施する。これら審査には原則、自大学の教員に加え、連携大学の電力系・マテリアル系の教員、人社系教員などが参加する。後述のマネジメント体制におけるPEP卓越大学院連携協議会の下に、カリキュラムやSE・QE・FE審査等を検討するワーキンググループを設置する。

◎**米ワシントン大学との共同開発FDプログラム**：各大学における教育の質保証のため、米ワシントン大学Center for Teaching & Learningと本学の大学総合研究センターで共同開発したオンデマンド型FDプログラムを全プログラム担当教員が受講し、**世界水準での教育の質保証とレベルアップ**を図る。

## 6. 優秀な学生・留学生、秀逸な社会人の確保に向けた取組

◎**学生・留学生への取組**：連携 13 大学による学生募集広報に加え、全国電力会社主導の教育コンソーシアムであるパワーアカデミーが主催する全国の電力系研究室の学生が集う「**学生交流会 (GPAN)**」を活用する。学生交流会に本プログラム生を登用し、全国の優秀な学部生に対して身近な先輩学生を通じ、本プログラムの魅力・価値を伝える。また、海外連携大学・機関や国際学会を通じた広報により、全世界から優秀な留学生を選抜する。選抜試験 (SE) においては、テレビ会議システム等を用いた遠隔面接審査を導入する。

◎**社会人への取組**：企業との共同研究を通じて、**修士卒の若手社会人の学位取得を促進**する。5 年一貫教育研究課程の質の保証を重視しつつ、修士課程修了者が大半である現状を考慮し、TD3 年から履修することで完了する仕組みを構築する。意欲・能力の高い社会人を選抜する視点から、**所属責任者の推薦**をもとに、産学共同研究の実績、国際関連プロジェクトへの参画等、本プログラムの趣旨に沿った選定基準を設け、QE と同等のプレゼンテーション・口頭試問等により選抜する。卓越修了審査 (FE1、FE2) は TD1 年からの学生と同一基準 (科目履修を除く) で行い、本プログラム修了者の質を担保する。

## 7. 課題解決に向け検証可能かつ明確な目標を、プログラムの目的にふさわしい水準で設定

本プログラム運用と整備に関わる目標、6 つの課題解決能力に関わる目標、修了時の質に関わる目標、修了後の活動に関わる目標に類型化して項目内容を定める (後表参照)。修了生は年 20 人程度とし、**加えて社会人 6 人程度 (全体の 2 割程度)** とする。学生を育成する体制の整備の指標として**企業等からのコンサルティング教員**の数を掲げる。教育研究の質向上を目的とした大学院改革の取組として、また、本プログラムが重視する提案領域を勘案し、**異分野異業種の新産業創出セミナー**の開催数を目標値として挙げる。プログラム継続性の観点から、**学生が主体的に活動する企業連携研究等からの外部資金の獲得件数**を挙げる。学生の専門力修得を測る検証可能な指標として、TD3 年以降の学生が主著者となる論文数 (年平均 1.5 報)、学生の学会等での受賞数を掲げる。新産業創出の観点から、TD3～5 年の学生は、少なくともひとつの共同研究プロジェクトに参画にするものとする。連携大学・企業との共同研究による論文数を注視し、成果として修了までに、**連携機関との国際会議等での共著論文 1 人 1 報以上**を目指す。学生が企業等と主体的に実施した共同研究の成果として特許出願数も指標とする。海外への派遣学生数、国際会議での発表数を、国際連携力を測る指標として設定する。

教育効果を測る指標としては、**ルーブリックを導入**し、卓越修了審査 (FE1、FE2) 時に **6 段階評価の最高**となるよう目標を設定する。ルーブリック指標は、高度な博士人材を育成する本プログラムに適合させ、6 つの力の達成度を **自己評価とピア評価**の両面から経時計測できるような開発を続ける。最後に、**修了生の活躍を追跡調査**し、8 割の修了生が国際プロジェクトに主体的に参画している状況を遠望したい。また、図 2 に示すように 6 つの力をアウトプットとした評価・対応サイクルを回し、成果の確認と継続的な改善を図る。

## 8. 目標の達成のために申請大学全体の大学院システムをどのように変革するか

本学は、中長期計画の核心戦略において、「**選抜された優秀な学生を対象とした戦略的な全学横断型の教育プログラムの設置**」という大学院改革の方向性を明示し、研究面では「**環境、エネルギー、高齢化、防災・安全**」分野への長期的取組と社会への貢献に力点を置き、改革を進めている。これらの核心戦略に則り、**電力・エネルギー分野で将来中核となって活躍する高度博士人材を理工学術院の研究科や専攻の壁を越えて広く確保できるように**、理工学術院の異なる研究科に属する 6 つの専攻 (先進理工学専攻、電気・情報生命専攻、応用化学専攻、機械科学専攻、電子物理システム学専攻、ナノ理工学専攻) とひとつの研究科 (環境・エネルギー研究科) の大学院生が参画可能な**横断的教育プログラムを設計・新設し、理工学術院全体での 5 年一貫博士人材教育のシステム改革**を推進する。

また、国内外から電力・エネルギー分野の博士人材を継続的に確保するという目標を達成するために、各地域の主要大学、エネルギー関連企業、特定国立研究開発法人が参画し、密に協働して開かれた教育システムを早稲田大学がハブとなり本プログラムで構築することによって、将来の電力・エネルギー産業を発展させ国際的にも活躍・貢献できる**博士人材育成分野プログラムの基準化**を図り、「**全連携大学の大学院 5 年一貫教育の分野共通化**」という新たな切り口での大学院教育システムの変革を試行する。

一方、国内外から優秀な学生を獲得するためには、学生への経済的支援が大きな比重を占めることから、本プログラムを駆動力として、米国有力大学が実践しているように、実応用に近い企業との共同研究への本プログラム生の参画と RA 費による経済的支援の定着化を推進し、エネルギーインフラ企業を中心とした「**共同研究と一体化した経済支援**」という、**博士人材への経済支援と教育研究をセットにした実現可能性と継続性の双方を有する新たな大学院人材育成スキーム**を大学院システム改革の目玉として着実に浸透させていく。連携大学間で企業共同研究のノウハウを共有化し、全連携大学のネットワークを用いて全国の大学間での本スキームの標準化を目指す。共同研究への参画による経済支援は、従来の奨学金とは異なり、**研究活動への対価として学生の責任意識を醸成するものであり、プロフェッショナルとしての自覚を根付かせる意義は大きい**。

上述の方策を本プログラムの参画教員が強力に推進し、関連する専攻・研究科へと順次波及させる。

※プログラムの内容が分かるようにまとめたポンチ絵 (1 ページ以内) を別途添付してください。(文字数や行数を考慮する必要はありません。)

# インターユニバーシティ型 5年一貫博士人材育成プログラム パワー・エネルギー・プロフェッショナル (PEP)

エネルギー未来社会  
(Society 5.0)

デジタル化された最適なエネルギー価値の連鎖



## 【人材像】

## 新産業創出

### ①モノづくりのプロフェッショナル

：新エネルギーシステムイノベーター

ゲームチェンジングなマテリアル革新と融合システム革新に必要な技術を統合的に組み上げる

### ②コトづくりのプロフェッショナル

：新エネルギー事業創出イノベーター

府省・企業と交渉し、再生可能エネルギー創製・利活用システムを実装する

### ③国際標準化のプロフェッショナル

：グローバル・エネルギーイノベーター

自立型電力・エネルギーシステム社会へと日本を変革し、国際社会へ波及させ世界を牽引する

## 産学連携による実践的な研究教育

国内全10電力会社、パワーアカデミー、電中研、東京ガス、大阪ガス、JXTGエネルギー、産総研 他

## 海外での実践的な研究教育

テネシー大学、ワシントン大学、シカゴ大学、ミュンヘン工科大学、チュラロンコン大学、清華大学、米国電力研究所 (EPRI) 他

## ◆ 共同研究力 ◆ 産業創出力 ◆ 国際連携力

## 国公立13大学連携による卓越した教育

### ◆ 深い専門力 ◆ 強い融合力 ◆ 広い俯瞰力

### 大学院教育改革の先駆的取組

- ① インターユニバーシティ型大学院教育プラットフォームによる国公立大の強みの結集
- ② 秀逸な社会人の受入による博士号取得の促進
- ③ 大学院横断型教育プログラムによる異分野融合の加速
- ④ 新産業創出に資する国際標準化の教育
- ⑤ 学生の産学共同研究への参画を通じた経済的支援



### 教育の質保証

- ・5年一貫の共通ポリシーに基づいた卓越カリキュラムによる互いの大学の壁を越えた同一教育環境の提供
- ・SE・QE・FEを連携13大学での共通要件として実施
- ・修了要件に連携機関との共著論文1報以上
- ・ワシントン大学との共同開発FDプログラムの全連携大学教員の受講

## パワーリソース・オプティマイズの学理



## 解決

＜ 電力・エネルギー分野の博士人材育成において克服すべき5つの課題 ＞

- ① 大学間連携
- ② 企業連合との組織連携
- ③ 異分野融合教育
- ④ 国際標準化の教育
- ⑤ 外部資金による研究と教育

◎プログラムとして設定する検証可能かつ明確な目標【1 ページ以内】

項目	内容	備考
(例) 〇〇分野の国際学会における発表者数	平成 30～31 年度 一名 平成 32 年度 〇名/年 平成 33～36 年度 〇名/年	M2 以上の学生に課す〇〇〇プロジェクトの結果等を活用し、特に優秀な学生はM2 から成果を発表することを想定。
プログラム入学者数 (社会人除く)	20 人程度/年 (完成年度以降 100 人在籍)	◎プログラム人材確保評価
修了生数(社会人除く)	20 人程度/年	◎プログラム人材確保評価
社会人修了生数	6 人程度/年 (全体の 2 割)	◎プログラム人材確保評価
コンサルティング教員数	平成 30～32 年度 10 人/年 平成 33～34 年度 30 人/年 平成 35～36 年度 50 人/年	◎プログラム体制整備評価 〈専門力、俯瞰力、融合力、国際連携力、産業創出力、共同研究力〉
新産業創出セミナー開催数	10 回/年	◎プログラム体制整備評価 〈産業創出力、融合力、俯瞰力〉
本事業における外部資金獲得目標件数 (共同研究数)	平成 32 年度までに 3 件 平成 34 年度までに 5 件 平成 36 年度までに 15 件	◎プログラム持続性評価 〈共同研究力、産業創出力〉
査読付き論文のジャーナル掲載数	平成 30～32 年度 50 件 平成 33～34 年度 100 件 平成 35～36 年度 130 件	〈専門力〉
学生の受賞数	人数平均で 1 件以上	〈専門力〉
共同研究参画の学生数	平成 30～32 年度 10 人/年 平成 33～34 年度 30 人/年 平成 35～36 年度 50 人/年	〈共同研究力、産業創出力〉 TD3 年以上は極力共同研究に参画
連携大学・企業との修了生の国際会議等での共著論文数	平成 30～36 年度 20 件/年	〈共同研究力、国際連携力〉 修了までに 1 人 1 報以上
特許出願数 (学生が主に関与するもの)	平成 32 年度までに 3 件 平成 34 年度までに 5 件 平成 36 年度までに 15 件	〈産業創出力、共同研究力〉
選抜した海外中長期派遣学生数	10 人/年	〈国際連携力、共同研究力〉 QE 時の研究成果から優秀な学生のみを選抜して派遣
国際学会の発表数	平成 30～36 年度 10 件/年	〈国際連携力〉
ルーブリック指標	SE(TD0 年) 達成度指標 2 以上 QE(TD2 年) 達成度指標 3 以上 FE(TD5 年) 達成度指標 4 以上	〈6 つの課題解決能力〉 リサーチルーブリックとして 0～5 の 6 段階を設定し、毎年度達成度を評価
修了生の国際プロジェクト参画割合/数	平成 32～47 年度 8 割/330 人	〈国際連携力、産業創出力、共同研究力〉 修了生に対し 10 年間追跡調査を実施

※適宜行を追加・削除してください。



図 2 本プログラムの目標達成のための評価・対応 PDCA サイクル

## (3) プログラムの特色、卓越性、優位性【2ページ以内】

(「最も重視する領域」を中心に、申請するプログラムが国際的な観点から見て有している特色、卓越性、優位性に関して記入してください。)

**1. 特色**

資源小国の日本は、最先端の技術革新による電力・エネルギーの安定確保と環境対応の両立を実現し、途上国の発展までを包含した**国際的なエネルギー未来社会の成功モデル**を提供して世界のリーダーシップをとれる可能性をもつ唯一の国である。本プログラムでは電力・エネルギー分野における「システム」「マテリアル」「kW/ΔkW((6)1.参照)」「環境」の4つの新価値を創造し、それらの**新価値を連鎖させることによって新産業を創出できる人材育成**を目指す。しかし、本分野における現場の知識やデータ、また研究・教育の強み・ノウハウは全国の企業・大学・研究機関に分散している状況にある。そこで、将来の産業創出に資する特定重要分野に横串を通す、**国内全10電力会社**(北海道、東北、東京、中部、関西、北陸、中国、四国、九州、沖縄)、**最大規模石油・化学会社**(JXTG エネルギー)、**最大規模ガス会社**(東京ガス、大阪ガス)を始めとする電力・エネルギーインフラに係る企業群と当該エリアの**産学共同研究大学**が一同に結集する**オールジャパンでの大学院プログラムのプラットフォーム**を構築し、共同研究実施型の5年一貫制博士人材育成を推進する。これは世界でも類を見ない取組であり、**共通項の合理化と各大学教員の尖った強みをインターユニバーシティ型として集積**し、日本の国策(内閣府 CSTI「エネルギー・環境イノベーション戦略 NESTI 2050」、Society5.0「エネルギーバリューチェーンの最適化」の実現など)とも整合を取りながら、全国の電力・エネルギー分野の教育研究を協調・統合することで**「新しい国づくりのための電力・エネルギー教育研究」に挑戦**する。

**2. 卓越性****◎国公立 13 大学の強みを束ねた電力・エネルギー博士人材教育体制の構築**

本プログラムに参画する国公立 13 大学は、学術雑誌の ASJC27 分類のエネルギー分野において、研究の厚みを示す機関 h5-index で世界 100 位以内の日本の大学 14 校の内 8 校を含み、全国をカバーする地域的広がりを持つ。また、**電力系を強みとする研究大学の約 8 割**がここに結集している。

国内全 10 電力会社、JXTG エネルギーならびに東京ガス、大阪ガスとの共同研究をこれまで継続的に実施してきている各大学のプログラム担当者が、これらの企業と 5 年一貫博士学生との共同研究による研究指導を通して、卓越した博士人材を育成し社会に輩出する。各エリアでの連携大学の実績として、例えば**名古屋大学**の早川は、中部電力と次世代電力機器分野の寄付研究部門を 20 年以上継続している。**北海道大学**の北は北海道電力と、**東北大学**の斎藤は東北電力と、**広島大学**の餘利野は中国電力との大学院生による共同研究を 20 年以上継続しており、**福井大学**の田岡、**徳島大学**の北條、**琉球大学**の千住らも地域電力との共同研究を継続的に実施しており、これらの**長期に亘る継続的な電力インフラ企業との共同研究実績**は、他に類を見ない。**大阪大学**の舟木は SIP「次世代パワーエレクトロニクス」で多くの企業と連携しながらシステム技術の先駆的開発実績を有する。また、**九州大学**の末廣は大学間連携共同教育推進事業を活用して九州域内の 5 大学と九州パワーアカデミー間とで電気エネルギー工学分野の共同教育の代表として強力に推進してきた実績を有する。さらに、**山梨大学**の内田、宮武はクリーンエネルギー研究センターと燃料電池ナノ材料研究センターを中心に燃料電池の国際的研究拠点として、**横浜国立大学**の渡邊、光島はグリーンマテリアルイノベーション研究拠点としてエネルギーマテリアルの最先端研究を推進している。**首都大学東京**の川上は水素エネルギー社会構築推進研究センターにおいて自治体と連携している。これらを始めとした**全国連携大学の強みを結集**し、インターユニバーシティ型の博士人材教育プログラムを構築する。**早稲田大学**は、JST CREST「最強チーム」や JST 未来社会創造事業(「超スマート社会の実現」領域)など電力・エネルギーに関する産学連携大型プロジェクトを多数獲得した実績を有する((6)5.6.参照)。13 大学連携の博士人材教育体制は、前述プロジェクトの研究代表者としてマネジメント実績を有する林が、プログラムコーディネーターとして、まとめあげる。林はスマート社会技術融合研究機構の機構長を務めており、本機構協議会・研究会にはインフラ系 20 社およびメーカー 24 社が参画している。本プログラムではこれら企業と共に異分野異業種の「産業創出セミナー」を毎年開催する。また、林は経済産業大臣直属で電力・エネルギー分野で唯一の八条委員会である電力・ガス取引監視等委員会の委員(経済、工学、法律、金融、会計の計 5 人のうち工学担当)を務めており、日本の政策・法・制度・技術に関する正確な動向を把握でき、本プログラムでの教育研究に展開できる。

**◎エネルギーインフラ企業・研究機関との連携の卓越性**

本プログラムに参画する企業群は日本のエネルギーインフラを造り上げ、牽引している。例えば、旧一般電気事業者である 10 電力会社は国内発電量の約 95%を占め(資源エネルギー庁平成 27 年度電力調査統計より)、JXTG エネルギーは国内売上高の 50%超(経済産業省「資源別に見た事業環境変化と新たな政策課題(平成 28 年 2 月)」より)、東京ガスおよび大阪ガスの販売計は全国の 75%(日本ガス協会「ガス事業便覧」平成 24 年度版より)を占めており、これらの**企業連合と連携して実施する共同研究型教育は国際的に見ても類をみない**。すでに JXTG エネルギーとは平成 22 年より「低炭素社会の実現に資する革新的基盤技術」に関する包括協定を締結し、大学院生も含む若手研究者の研究提案に対する競争的助成を行うなど、産学連携に基づく大学院教育の先駆的な事例を積み重ねてきている。さらに、電力中

央研究所とは共同企画・運営により、卓越必修科目「高度技術外部実習」を新設し、博士5年一貫での新産業創出につながる実践的研究力の育成プログラムを初めて実施する。

### ◎パワーアカデミー(電力・エネルギー系研究人材育成組織)との研究人材育成連携の卓越性

パワーアカデミーは、電気事業連合会会員企業(全国全10電力会社)と電機メーカー(日立製作所、東芝、三菱電機など)、電力中央研究所、電源開発および関連業界団体で構成された国内唯一の電気工学教育支援組織で、学との共通のビジョンのもとに連携し、電気工学分野の研究、教育を全国的に支援するとともに、本分野の魅力や重要性に対する社会の認識を高めるPR活動を展開し、電気工学分野の一層の発展に寄与することを目的として活動している。パワーアカデミーと本学との「組織」対「組織」の連携体制のもと、卓越必修科目である「電力・エネルギーマテリアル現場演習」の実施、学生交流会や産学交流会などの人材交流、博士学生への研究助成を行い、優秀な人材の育成を支援する。

### 3. 優位性

#### ◎電力・エネルギー分野の新産業創出に資する国際標準化の教育プログラムの初めての構築

電力・エネルギー分野における課題解決や新産業創出に資する領域を開拓するためには、国際標準化を意識した課題設定、事業設計が不可欠である。世界的に様々な規格が存在する中で、互換性担保が今後の重要課題であるとともに、海外、特に今後需要の主要地と目される東南アジア諸国などの発展途上国においては、これらが国際電気標準会議(IEC)または国際標準化機構(ISO)の国際標準に認定されている必要がある。国際標準化については、欧州が主導的に取り組み、米国はスピードと実績をもって米国標準(IEEE)で対抗する中、日本は、技術は世界最高峰であるものの国際標準化戦略においては出遅れている現実がある。このような現状の中、本学は国の電力・エネルギーシステムの標準化施策と連動して中立性・公平性を第一義に、JSTや経済産業省、NEDOの研究実証の場として、平成24年に国際的に類をみないEMS新宿実証センター((6)6.参照)を設置した。本プログラムでは、新しい学理とするパワーリソース・オプティマイズにおいて、同センターを国際標準化教育の場として使用し、民間企業と大学と官庁の専門家によるカリキュラム開発を通して、電力・エネルギー分野の国際標準化教育の質を保証した博士人材育成プログラムを確立させる。同センターに視察に来た米国立科学財団(NSF)からも国際標準規格を採用したエネルギーマネジメントの研究教育環境は極めて高く評価されており、国際的に見て高い優位性を有している。

#### ◎トップクラス海外機関との連携

米国・欧州・アジアの各地域において、電力・エネルギー系研究を核となつて推進している大学や研究機関(テネシー大ノックスビル校、米国電力研究所、ワシントン大、シカゴ大、ミュンヘン工科大、清華大、チュラロンコン大)と連携する。米国の各大学は米国エネルギー省やNSF等の研究や、州政府等とも連携した実践的な研究成果の展開も数多く実施しており、世界トップレベルでの研究教育連携が可能な大学である。また、本学はOECD/NEAやIAEAなど国際機関へのインターンシップ派遣実績もあり、本プログラムに参加した学生のうち、特に優秀な者には、これらの連携先や国際機関等での共同研究や実習機会を提供する。研究指導の一環として指導教員は、トップクラス海外機関と学生の研究素材や資質を十分協議の上、共同研究費等を活用し学生を派遣する。学生は海外機関からの国内とは異なる視点での意見を受けながら研究テーマを深掘りする。学生には、共著の国際会議発表や論文等のアウトプットを求める。

#### ◎文理融合による新産業創出のための体系的な知識の提供と質保証

未来社会の新たな価値や仕組みをデザインし新産業の創出に繋げるには、学理の追究だけでなく、異なる価値観をマネタイズする制度設計、規制緩和、新たなビジネス創出を演出できる人材が必要となる。そのため、電力・エネルギーの税制・政策や事業創造等に精通する早稲田大学の有力な人社系教員を参画させる。経済学研究科の有村は環境経済を専門とし、カーボンプライシングに関する大型の研究プロジェクトを進めるとともに環境省の政策アドバイザーも務めている。環境税導入の効果を測定する独自の指標を有し、その方法論は国際的にも高く評価され、RePEcの日本ランキングで常に上位に顔を出している。早稲田大学ビジネススクール(WBS)の川上(アジアのマーケティング研究者トップ100に日本から唯一選出)はJournal of Product Innovation Managementの編集委員会に平成25年以來、日本から唯一参加し、国際学会の最前線で知の創出に貢献している。平成29年3月に刊行した新技術の普及に関する論文はノーベル経済学賞を多数輩出している英LSEの公式ブログでも紹介された。また、WBSはQS社のグローバルMBAランキング2018で日本国内第1位に選出されている。このほか、日本で初めて設置したジャーナリズム大学院「政治学研究科ジャーナリズムコース」では、認定ジャーナリズム教育プログラムを理工系学生にも開放してきた。また科学技術コミュニケーション実践組織である「サイエンスメディアセンター(SMC)」は平成23年の東日本大震災に続く社会的議論の中で科学技術の知見をメディア、ひいては広く日本社会で共有する役割を果たし、科学技術政策研究所「ナイスステップな研究者」を受賞、科学技術白書にも大きく掲載された。さらにSMCが提供する研究者向けの教育プログラム「研究者のためのメディア・トレーニング・プログラム」は、東京大学、京都大学、大阪大学、東京工業大学等で継続的に実施されている実績を有する。

※プログラムの特色、卓越性、優位性が分かるようにまとめたポンチ絵(1ページ以内)を別途添付してください。(文字数や行数を考慮する必要はありません。)

# 「パワー・エネルギー・プロフェッショナル（PEP）」の特色・卓越性・優位性

## 特色

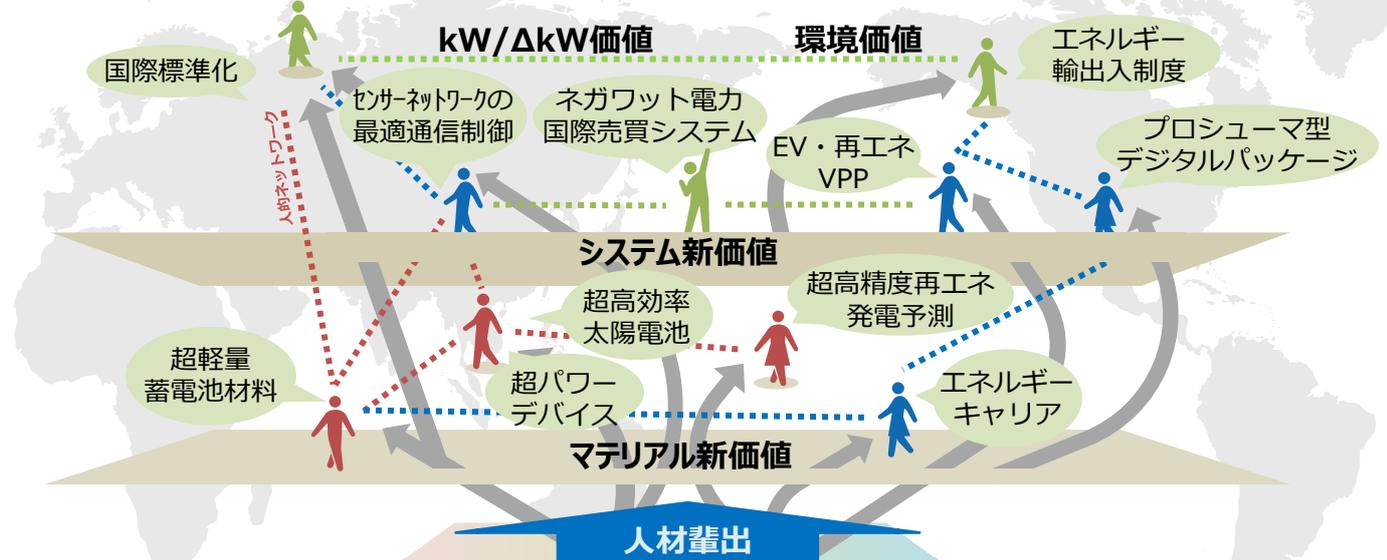
日本の電力・エネルギー・環境政策（Society5.0、NESTI2050）と整合

電荷から電力網まで一貫したエネルギー未来社会創造のための教育研究

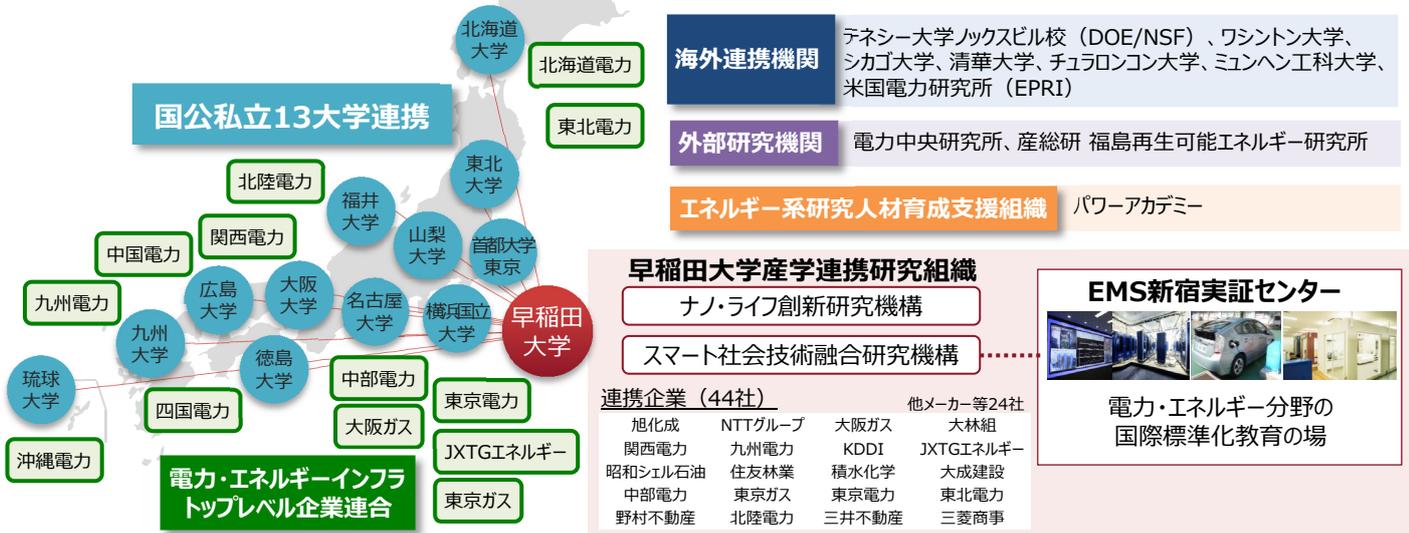
企業連合と研究大学が結集する世界に類を見ない高度人材教育プラットフォーム形成

最適なエネルギーバリューチェーンの国際的新産業創出に資する人材育成

## 電力・エネルギーシステム・マテリアル・kW/ $\Delta$ kW・環境価値創造の連鎖による新産業創出



## 国公立13大学によるインターユニバーシティ型5年一貫博士人材育成プログラム（PEP）



### - 比類なき質と量 -

- ◆ **卓越性**
- ◆ 国公立13大学との産学共同研究教育体制（電力系研究大学の約8割が結集）
- ◆ エネルギーインフラ企業連合との連携（全10電力会社国内発電量95%（石油売上高50%超、ガス販売量75%））
- ◆ エネルギー系研究人材育成組織との産学連携（国内唯一の電気工学教育支援組織“パワーアカデミー”と協働した人材育成）



### - トップクラスの教育研究環境 -

- ◆ **優位性**
- ◆ エネルギーの相互接続性の国際標準化教育（実証設備を有した国内唯一の実践教育の場）
- ◆ 米国エネルギー省等と連携する卓越した海外研究機関との研究教育
- ◆ 未来社会デザイン・事業創造等の体系的な文理融合教育（早大：QSグローバルMBAランキング2018国内1位）

(4) 学長を中心とした責任あるマネジメント体制【2ページ以内】

(学長を中心として構築される責任あるマネジメント体制を確保するための取組、大学全体の中長期的な改革構想の中での当該申請の戦略的な位置づけ、高度な「知のプロフェッショナル」を輩出する仕組みの継続性の担保と発展性の見込みについて記入してください。)

申請主体である早稲田大学において、本申請プログラムは全学的な大学院改革を先導するモデルケースとして文・理の複数研究科に亘り全力で推進する。連携大学においても、本申請プログラムで実践する取組みを大学院改革のモデルケースとして広く波及させることを目指す。これらを強力かつ確実に実行するため、以下の1~3を推進する。

1. 総長の責任あるマネジメント体制

早稲田大学は建学の理念に基づき、創立150周年(2032年)へ向けた中長期計画「Waseda Vision 150」を策定し、13の核心戦略とその具現化のための個別プロジェクトを実施している。その推進のため、総長を責任者(本部長)とする「Waseda Vision 150 推進本部」を設置しているが、本申請プログラムはその中核事業と位置づけ、実施運営のための体制を整備する。

また、総長のリーダーシップのもと、大学独自資源はもとより、あらゆる学外資源も効果的に活用(人材・予算・スペース等の確保および最適配分)しながら、その実行および継続性を担保する。このような戦略的なマネジメントおよび資源投入により実施される本申請プログラムの実績や成果は、同推進本部の仕組みを活用し、本学が目指す研究大学に相応しい大学院教育改革の先進的な事例として波及・展開を図る。

図3に実施運営体制を示す。総長自らリーダーシップをとる「Waseda Vision 150 推進本部」の下、全体調整やマネジメント面を担う教務部・国際部・研究推進部等の本部組織チームによる「PEP卓越大学院マネジメント委員会」および教育研究事業を実践する理工学術院等の学内研究科による実施運営機能を担うプロジェクトチームとして「PEP卓越大学院運営委員会」を組織し、それらの機能を有機的に連動させることによりプログラムの継続性及び発展性を担保し、強力に事業推進する体制を構築する。プログラムの実効性の確保および質の保証の観点からは、組織的な不断のPDCAサイクルを実施し、他方で学界・産業界や外国人有識者による外部評価を実施する体制(外部評価委員会)も整備する。これにより、高度な「知のプロフェッショナル」を輩出するプログラムとしての事業計画・人材育成実績・費用対効果・目標達成度測定・社会的有意性などから卓越性・実現可能性・継続性・発展性・実効性を把握・分析しながらマネジメントを行う。このような体制により、教育研究の質を高いレベルで保証しながら継続的に実施すると共に、絶えず起こる社会情勢やニーズの変化に対し、当該プログラムの構想・計画・実行に対する迅速かつ柔軟に対応可能となることが期待される。

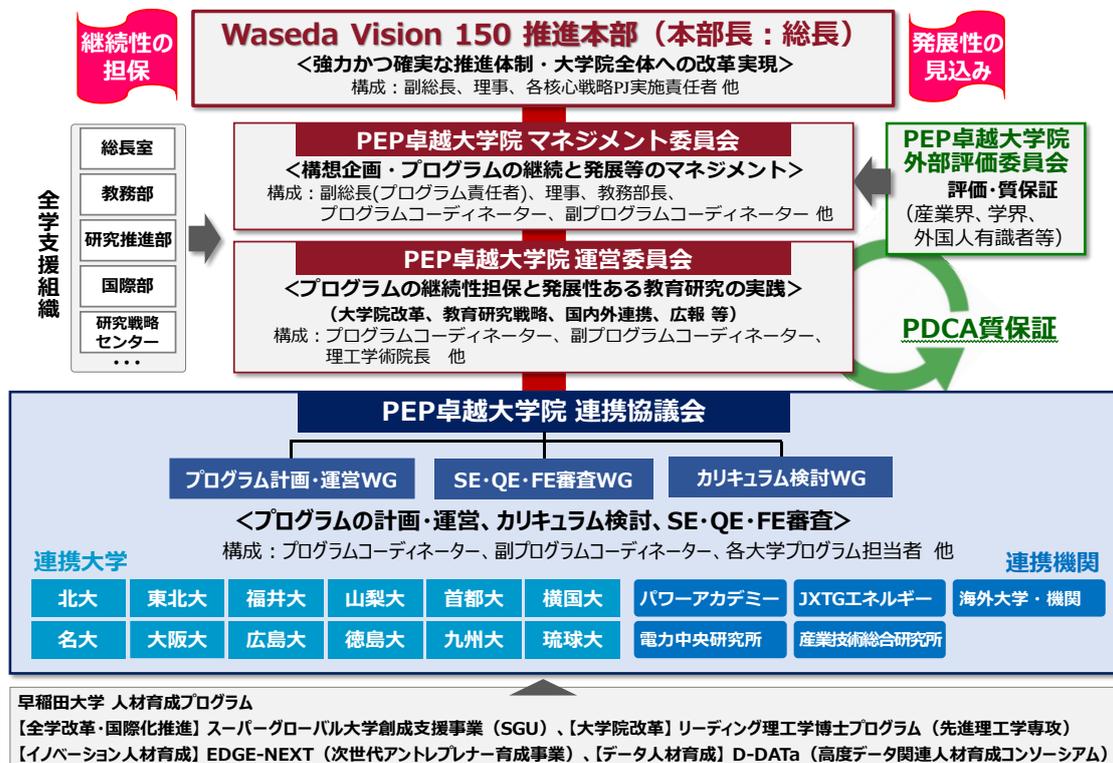


図3 実施運営体制

また本申請プログラムは連携大学・機関等とともに実施することとなるが、本学は連携機関全体のハブとしての役割を担うことでプログラム連携・マネジメントを機能させる。そのために「PEP 卓越大学院連携協議会」を設置し、その下に3つのワーキンググループを組織して、プログラムの計画・運営、SE・QE・FE 審査、カリキュラム検討を実施する。図2に示したような、本プログラムの目標達成のための評価・対応サイクルにて教育プログラムとしての質の向上を図る。

以上に示したようなマネジメント委員会、運営委員会および連携協議会を三位一体となって連動させて本申請プログラムを強力に推進すると共に、その成果を基にした大学院改革を学内で実現し、さらに連携大学にも広く波及させる実行体制モデルを構築する。

## 2. 学内および国公立 13 大学間での共通理解と協力体制

本学が目指す大学像を実現するための「Waseda Vision 150」と文部科学省「卓越大学院プログラム」の基本理念は、「大学院改革の加速化」「未来社会で求められる高度博士人材の育成」「教育システム改革の継承と発展」等の観点からよく一致している。これまで約2年余りにわたり学内および連携機関にて広く教職員間で議論を重ね、社会的課題・人材育成像・本学が取り組む有意義・研究者ネットワーク・研究大学としての研究教育スタイル・3つのポリシー・総長をはじめとした大学執行部のコミットメントなど多面的な検討を重ねてきた。総長直下での卓越大学院構想検討本部会議、理工学術院構想検討WG、学術院長や研究科長個別訪問、人社系と理工系の有識者検討会、総長常任理事懇談会といった会合をはじめ、理工学術院内会議(卓越大学院電力・エネルギー系コース設置検討WG および運営委員会、先進理工学研究科主任会等)、教学会議(学術院長会、研究科長会、教務担当教務主任会)、法人会議(理事会、経営執行会議、部長会)等の学内の公式な会議体にて、構想やプログラム内容等について学内広く共有を図り、総長のリーダーシップの下で全学的協力体制の形成がなされている。

また、当該卓越大学院プログラム構想は、電力エネルギーとマテリアルの各領域における高い研究教育実績に基づく学内外の国際水準の研究者による協力が不可欠であり、大学の壁を越えて一堂に会し、大学院教育や研究実績、業界団体や企業群による協力・支援状況、専門領域の技術的課題や社会的課題を持ち寄り共有・協議してきた。実績としては、13 連携大学等が参画した全国電力・エネルギー系卓越大学院会議を計6回開催した。本学で共通理解を深めてきた当該プログラム構想を共有しつつ協議を進め、社会的意義・課題・人材育成像・3つのポリシー・将来の展望など発展的・包括的に13 連携大学等間で共通理解を形成するに至った。その結果、10 大学と大学間協定を締結済みであり、2 大学とは締結手続中である。なお、事業開始後には、この信頼ある連携体制の実績を継承し、カリキュラム検討や卓越修士審査(FE)等を機能強化して「PEP 卓越大学院連携協議会」として発展させる。こうしたマネジメント体制によって、本学はもとより、全国各地に拠点として広がる連携大学の他大学院においても当該プログラムに対する共通理解を確実なものとし、大学院改革の効果波及に発展させる。

## 3. 学内外リソースを駆使した人材輩出の仕組みの好循環

総長を中心とした責任あるマネジメント体制確保の一環として、次の方策を実施する。教育研究を一体不可分と捉えた学内外資源(人材・予算・スペース等)を確保し、戦略的に適正配分する。本学における既存の人材育成プログラムとも連動しながら、産官外部資金の獲得実績あるトップレベルの研究者集団で形成されたプログラム運営を実現する。図3に示すように、「SGU」や「リーディング理工学博士プログラム」での教育研究一体の大学院改革はじめ、「博士キャリアセンター」が主体となって実践中の「EDGE-NEXT」、独自に新設置した「データ科学総合研究教育センター」にて推進中の「ID-DATa」等においては、社会の課題解決と密接した企業・機関とのコンソーシアムを形成し、社会人の教育をも対象として取り組んでいる。これらのプログラムにおいて培ってきた知見・ネットワーク等の学内外資源を有機的に連動させ本プログラムに活用する。また、学術院将来構想実現(理工系7重点領域など)のための教員増を伴う改革支援策を実施し、新設する研究開発センターを活用して研究の事業化による産学連携を促進し、戦略的研究教育経費等による大学交付予算を措置する((5)参照)。

こうした先立つ資源を積極的に投下することにより、本学が標榜する研究大学に相応しい大学院教育の実現を図る。具体的には、上述の通りトップレベルの研究者集団による新たな大学院プログラムの構築により、①全国規模の優秀な学生の集結・獲得がなされ、②突出した研究成果が生み出され、③更なる共同・受託研究の獲得につながり、④財政基盤の拡大により安定的に優秀な学生を確保する、という教育研究面での継続の好循環の仕組みをつくる。また併せて、①連携企業等における高度な現場研修や研究助成制度への参画によって博士学生にとって魅力的なプログラムが構築され、②エネルギー関連を志向するより優秀な学生が参集し、③秀逸な博士人材のリクルートのためにエネルギー関連企業が世界中から参画する、という産学連携の拡大によるプログラムの発展・拡充の好循環をも目論む。

以上のように、本申請プログラムを新たな大学院教育システムのフラッグシップモデルと捉え、総長・理事会以下の本部部局が一体となってコミットメントし、補助期間中はもとより補助期間終了後においても本学自らの取り組みとして完全に内在化を図り事業継続するようマネジメントすることで、大学全体の大学院教育改革を強力に推進する。

ポンチ絵は不要です。

(5) 学位プログラムの継続、発展のための多様な学内外の資源の確保・活用方策【1 ページ以内】  
(学位プログラムの継続、発展のための学内外の資源の確保・活用方策について記入してください。)

本申請プログラムは、「Waseda Vision 150」の下、総長が主導する全学横断型大学院プログラムの先駆的モデルと位置づけ、戦略的に継続・発展させることを決定した。それを支える財政基盤を確実・効果的なものとするために、当初は補助金事業を活用しつつも、その終了後を見据えて次のような学内外資源の確保・活用を図る。

### 1. 連携の継続

本プログラム参画の 13 大学では補助事業終了後も協働の学位プログラム、開発科目の運用等、相互の人材・科目・ノウハウなどを共有し、各大学の大学院改革の推進に活用することの基本合意がなされている。パワーアカデミー、産業技術総合研究所（福島再生可能エネルギー研究所）、電力中央研究所、米国 EPRI 等のエネルギー業界の連携機関からは、研究助成制度の利用、現場実習施設の利用、講師の派遣、機器・施設共同利用等の資源の提供を受け、最新かつ先端の教育研究環境を長期にわたって学生に提供する。これは、エネルギー業界の開発視点が長期のインフラ整備を基軸とするため、初めて可能となる活用方策である。この連携を活用して大型産学連携プロジェクトの獲得を図る。

### 2. 学術院将来構想実現のための教員増

本学は、平成 26 年度より 10 年で 160 人（自己資金雇用、外部資金雇用それぞれ 80 人）という具体的な数値目標を掲げた教員増員計画を立て、各学部・研究科から提案される改革案を大学執行部が査定し、その結果に応じて必要な人員を配分する施策を平成 29 年度より開始している。理工学術院においては、従来各専攻単位で行われてきた教員採用人事の方式を見直し、重点化を行う 7 つの研究教育領域と国際化対応を考慮した教員人事構想を大学執行部に提案し、これに基づく新たな教員採用を開始している。本プログラムに密に関連する教員採用の計画と学術院での教員採用計画との整合性、ならびに自己資金雇用、外部資金雇用での観点での計画を勘案して人事制度の改革を進める。また、文部科学省の卓越研究員制度を活用した人事制度の改革とも並行させる。

### 3. 研究教育スペースの拡充

本学は、研究大学に相応しい研究教育環境を整える一環として、暫時既存施設の建替え整備を進めている。平成 29 年夏季より、約 100 億円の自己資金を投じて研究開発センター（新宿区早稲田鶴巻町 513 番地）を再開発し、新研究棟（延べ床面積 1.8 万平米）の建設を開始した（図 4）。新棟は平成 32 年度の完成を予定しており、大学本部が主管する研究スペースの拡充を図るとともに、従来以上に密な産学官連携を推進する場として整備する。完成後、本プログラムの専有面積として新たに 640 平米の確保を確約しており、産学連携による大学院教育改革の旗艦モデルとしての発信の場、異分野融合・イノベーション教育プログラムの実践の場、などとして活用する。



図 4 早稲田大学 新研究開発センター 完成予想図

### 4. 「戦略的研究教育経費」、大学予算の投下

本学は、財政構造改革を進め、研究収入、教育収入、寄付金等を一元管理した上で、各事業に応じた戦略的に再配分の推進を検討している。本申請プログラムは、総長が主導する教育プログラムの改革の中核として位置づけ、「戦略的研究教育経費」を重点的に投資する。具体的には、本プログラム参画教員が獲得した外部資金の間接経費等の配分割合、年度ごとの研究費のゆらぎをヘッジする資金化、寄付金等の別財源経費の充当、などを実施する。寄付金の一部は既に学生に還元しており、学生の中長期海外留学や研究に専念するための経済的支援を図る。

### 5. 産学連携による研究費のあり方

本プログラム参画者は、博士学生に対する優れた教育研究環境提供のため種々のプロジェクト型外部資金獲得に努めるとともに、事業期間中から産業界との共同研究費の標準化を念頭に、特に RA 経費の計上確保を図る。理工学術院を軸として、本申請プログラムを駆動力として、第一義的に産業界からの資金導入による博士への支援を常態化するとともに、産業界との教育研究が連動した 5 年一貫制の学位プログラムを定着させる。

### 6. プログラムフィー

本プログラムは、修了生による博士人材の価値向上を図ることでクリティカルマスを突破し、電力・エネルギー業界の高度技術者や政策担当幹部候補生等の社会人受入れを増加させる。これによって、社会人学費や参加費・プログラムフィーを徴収し、補助事業終了後の本プログラム経費に充てる。

以上、多様な学内外資源の確保と活用により、本申請プログラムの継続を強固に担保し、更なるプログラムの飛躍的發展を図る。

ポンチ絵は不要です。

(6) 個別記載事項その他、プログラム全体を通じての補足説明【4ページ以内】

(個別記載事項に該当する事項のうち、ここまでの説明では用いられておらず更に説明を要する点や、その他分野の特性等の説明を要する内容について、自由に記述してください。)

1. 超スマート社会実現への新産業創出基盤となる電力・エネルギーインフラ分野の潮流

日本は、パリ協定において2030年に温暖化ガス排出量26%削減、さらに2050年には80%削減という現状の延長線上では達成困難な目標を国際公約に掲げている。こうした大目標の先に持続可能な社会実現を見据え、あらゆる活動の源となるエネルギーリソースを太陽光や風力等の再生可能エネルギーに転換していくことが求められる。再生可能エネルギーの大宗は電力エネルギーとして与えられることから、エネルギーの最終利用を電化ないしは電力から製造するCO<sub>2</sub>フリーの水素などのエネルギーキャリアに転換していくことが不可欠となる。

図5に示すように、エネルギー制度改革やエネルギー市場が整う前の2020年度までを「エネルギーインフラ2020」、パリ協定2050や内閣府総合科学技術・イノベーション会議のエネルギー・環境イノベーション戦略NESTI2050などのターゲットとなる2050年度までを「エネルギーインフラ2050」と定義する。NESTI2050では、「エネルギーシステム統合技術」と「システムを構成するコア技術」を2050年への技術革新の両輪と定義している。Society5.0のコアである「エネルギーバリューチェーンの最適化」をエネルギーインフラ2050で牽引することで実現し、これに呼応して「国づくりのエネルギー」の視点から世界展開可能な新産業の創出が求められている。地球30周分の電力ネットワークインフラはもとより、石油やガスも含め本プログラムが連携するエネルギーインフラ企業連合の産業規模は極めて大きい。加えて、近年の**パワーリソースの分散化、デジタル化、EVシフト化**などの潮流が相まって、その産業規模は情報・通信分野や自動車分野、建築・建設分野、サービス分野などへも拡大され、200兆円以上に至ると試算されている。

エネルギーインフラ2050では、社会経済の生命線である電力ネットワークインフラが、これまでの規模の合理性に基づくエネルギー消費者への一方向の供給の仕組みから、技術的にも価値観としても根底から変革する異次元かつ未踏の領域に入っていくことを意味する。第一に、エネルギー源は従来の制御可能な大規模電源から、制御困難な分散する電源になり、電力の需要と供給の関係を抜本的にかえる。第二に、太陽光発電(PV)が個人家屋など需要家側にも大量に導入が進み、蓄電池や電気自動車(EV)に余剰分を充電するばかりでなく、充電や放電に対する電力の取引等も行われ、需要家は電力を消費するだけでなく電力の創出や貯蔵も行う**「プロシューマー」**となっていく。総延長地球30周分に相当する巨大な電力ネットワークは、相互協調なく設置されるダウンサイジング化された分散型のパワーリソースが主役を演ずる**双方向型分散協調システムに不可逆に移行**する。第三に、PVの発電電力は天候に依存して変動し、EV・蓄電池などのパワーリソースは需要家のニーズで動作されるため、その変動も重畳されてくることとなる。



図5 新価値創造の連鎖に基づいた新産業創出ビジョン「エネルギーインフラ2050」

エネルギーインフラ2050の世界では、エネルギーセンサーネットワークは、多数のパワーリソースが電氣的・情動的に接続し、天候とそれぞれの目的に応じてエネルギーの入出力がこれまでにない細かな時間粒度や空間粒度で時々刻々変化する複雑系へと変貌することとなり、電力品質を規定する周波数・電圧の維持の困難化、その維持コストの不可避な上昇をもたらす。定量的には、これまで電力インフラが提供する中心的価値であったエネルギー「kWh 価値」は、限界費用がゼロである再生可能エ

エネルギーへの移行により着目度が大きく下がる。代わって、エネルギー(kWh)を電力需要に応じて得るための設備のパワー(kW)である「kW 価値」、ならびに発電や需要の変動に対してリアルタイムで追従して電力品質(周波数、電圧)を維持するのに必要なパワーの補填分である「 $\Delta$ kW 価値」の重要度が増していくことになる。さらに、kW 価値や $\Delta$ kW 価値がスマートメーター等のセンシングデバイスによりデジタル化され、双方向情報通信により共有化可能となり、今後創設されることが確定されている容量市場や需給調整市場といった新たな電力市場において、これまでにはなかった新たな経済価値として取引されることになる。

## 2. マテリアルとシステムの技術革新の融合による教育研究プラットフォームの確立

### ◎エネルギーマテリアル系の技術革新

電力・エネルギーインフラの大変革には、大規模・複雑化と同時に迅速・精密な制御のためのシステムの構築が求められ、これを支える創・蓄・省エネを実現するマテリアル分野の技術革新も極めて重要となる。例えば太陽光発電需要の世界規模での増加に応えるには、膨大な量の太陽電池素材が必要となるのはもとより、単一セルから複合化モジュールに至る材料性能の向上および低コスト化、さらには変換効率の一層の向上も求められている。このためには現在主流であるシリコン系太陽電池用高純度材料の安定供給を、CO<sub>2</sub>排出を大幅に減少させ、環境適合性を向上させつつ可能とする革新的なプロセスの構築はもとより、新規な系であるペロブスカイト型太陽電池の一層の高変換効率化および長期安定性の確立等種々のボトルネック課題の解決のための研究開発が急務である。また、このような再生可能エネルギー導入増大の前提となる大規模蓄電池システムの構築、さらに急速に進展するEVの普及を支えるための蓄電池技術としては、資源面など現行のリチウムイオン蓄電池系において顕在化しつつある本質的な限界をブレイクスルーする、安全・低コストかつ軽量・高エネルギー密度な革新型蓄電池系の開発も急務である。さらにこれらの創・蓄エネルギー系に可撓性を付与させることにより適用領域・機会の拡大を図ると共に、素材レベルで出力変動を抑える光発電素子や、充放電の高い瞬発性および間歇性への耐性を有する蓄電池等を、マテリアルの革新によって実現する研究開発が望まれる。また、これらの再生可能エネルギー起源の電力活用・太陽光直接活用による高効率水素製造、水素活用のための水素貯蔵・輸送等、水素創出・活用のためのマテリアル研究開発も重要となる。この領域では、高効率に水素を電解生成させるための電極触媒開発を中心に、より低い投入エネルギーで高効率に長期安定動作を行うため、電解質や隔膜、さらに電解槽など反応系全体の高度化を実現するための複合的な材料開発が求められる。加えてパワーリソース・計測センサー等、デバイス自体の性能向上や抜本的なコスト低減、新機能創出のための材料技術革新も重要であり、その基盤となる革新的マテリアル創製や界面制御など、本プログラム担当者の強みである基礎科学的な面での格段の進展を図る。その実現により双方向分散協調システムのより高次元での達成への寄与が期待される。

### ◎電力システム系の技術革新

日本では2024年度末までに、すべての住宅やマンションなど約8,000万軒にスマートメーター(30分単位の電力消費や発電電力のデータを双方向通信可能なデジタルメーター)が導入されることが確定しており、全需要家の膨大なエネルギーデータを保有・管理するスマートメーターインフラ導入の世界最先進国となる。この現状を端緒として、変動する大量の再生可能エネルギーの活用と分散するパワーリソースの統合・協調を主軸とする世界において安定で高品質の電力利用を実現するために、デジタル化された巨大なエネルギーセンサーネットワークの革新的最適制御手法、そこに国際標準通信規格でアクセスされる発電・消費機器の超高精度の計測・予測・制御手法、さらにはこれまでにない時間粒度と空間粒度が超細分化されたセンサーネットワーク全体の電力品質(電圧・周波数)制御手法などの極めて先駆的なシステム制御技術の開発と確立が求められる。そのためには、パワーリソース・計測センサーをICTでエネルギーネットワークに接続させ、データを共有することが不可欠要素であり、双方向分散協調システム全体で設備コスト・運用コストの最小化を達成する必要がある。さらに、こうしたシステムの最適性を担保するための国際標準化、市場整備、ルール策定、制度設計を可能とするシナリオ分析・定量評価のためのツール開発も重要となる。

電力システムとエネルギーマテリアルの両分野は、前者のニーズに後者のシーズが応え、後者が示すシーズを前者が活用する両輪の関係にあり、未踏領域である双方向分散協調エネルギーシステムの高度化のためには、それぞれの分野における進展をリアルタイムに結び付けていくことが重要であり、双方の研究者・技術者が緊密に連携する体制が必要となる。本学では、いち早く分散パワーリソースが接続された電力ネットワークの分散協調エネルギーマネジメントシステムをデザインし、新たな研究領域とその実現のための研究施設整備を先駆的に進めてきた。電力・エネルギー分野、ならびに、新機能・デバイスを創出してきたマテリアル分野の両分野を有し、それぞれが大規模な国家プロジェクト、幅広い産学連携等の実績を上げてきた。この両分野が協働するとともに、政策・ビジネス創出の教育力を加え、さらに国内の大学に散在している世界的競争力を持つ得意分野の集結により、全国の大学が連携して有機的に一体化することで、次世代の双方向分散協調エネルギーシステムにチャレンジする教育研究プラットフォームを確立する。

## 3. 本プログラムでの高度博士人材育成を通じた新産業創出のビジョン

本プログラムでは、図5に示すエネルギーインフラ2050において、輩出博士人材が獲得する世界レベルのマテリアルからシステムまでの革新技術や新領域融合技術にもとづき創生される新規価値の総和を「最適なエネルギーバリューチェーン」として定義する。これに至るための革新技術の柱として、

①デジタル化センサーネットワークにおける革新的システム統合技術、②再生エネルギー/蓄エネルギー

一/省エネルギーに関連する分散パワーリソースの材料/デバイス/システムの革新的コア技術、  
 ③センサーネットワークとそこにつながる分散パワーリソースをビッグデータやAI等を活用し全体  
**最適マネジメント**を創出する革新的ソリューション技術、を位置づける。輩出博士人材はこの革新的  
 かつ独創的なエネルギーバリューチェーンを武器に、人的ネットワークを構築・活用しながら世界展  
 開も可能な新産業を創出することで、CO<sub>2</sub>排出削減率やエネルギー自給率など国内主要指標の飛躍的改  
 善に貢献する。その結果、資源輸入国を転じ、材料・デバイスからシステム・インフラまでを  
 統合した**パッキンフラ**(ハード、ソフト、ノウハウ含む**統合システム**)の**輸出国へと変革**することを、  
 本プログラムで目指す新産業創出のゴールと位置づける(図5参照)。このゴールの達成のため、ボト  
 ムアップ指向の材料教育とトップダウン指向のシステム教育とイノベーション指向の人社系教育  
 を取り入れ密に連携させた新たな学理「パワーリソース・オプティマイズ」を構築し、PEPを輩出  
 する教育カリキュラムを展開する。本プログラムは、連携大学・企業との強固な人的ネットワークを在  
 学中から築くことが大きな狙いである。修了者はこのネットワークを活用して、知のプロフェッショ  
 ナル人材として、それぞれ活動していく。図6は本プログラムで構築された人的ネットワークが活か  
 され事業が展開される様子を模式している。例えば、材料を専門とする**①新エネルギーシステ  
 ムイノベーター**が関与するプロジェクトから超軽量蓄電池材料に基づく超パワーデバイスが創出さ  
 れ、デジタル化センサーネットワークと国際標準通信規格で相互接続され再エネを最大限導入可能な  
 最適制御による革新システム事業として**②新エネルギー事業創出イノベーター**とともに展開される。  
 それらの事業はさらに**③グローバル・エネルギーイノベーター**によって国際標準化が図られ、新産業  
 国際市場に実装される。

このように、革新的な材料・デバイス・システムが創造する新価値が複合的にかつ時系列で  
 重なって、小さなイノベーションから、大きなイノベーションへ、さらに全体のエネルギーバリュー  
 チェーンが最適化されていく社会、すなわち、電力・エネルギーの安定確保と環境対応を担保しつつ、  
 新産業創出による経済成長が並立する社会となっていく。本プログラムで育成・輩出された博士人材  
 が、知のプロフェッショナルとなり多種多様な事業に関わりながら、最適なエネルギー新価値の連鎖  
 (システム・材料・kW/ΔkW・環境の新価値の連鎖)を創造し、**国内の関連新産業市場(1兆kWh、  
 200兆円以上と試算)**、さらには**新産業国際関連市場(2050年には50兆kWhと試算)**への展開を通して、  
 日本を分散パワーリソースパックの生産・輸出国へと変革していく。

### 電力・エネルギーインフラ分野の新産業国際市場

－世界の電力市場は現在の20兆kWhから**2050年には50兆kWh**へ－

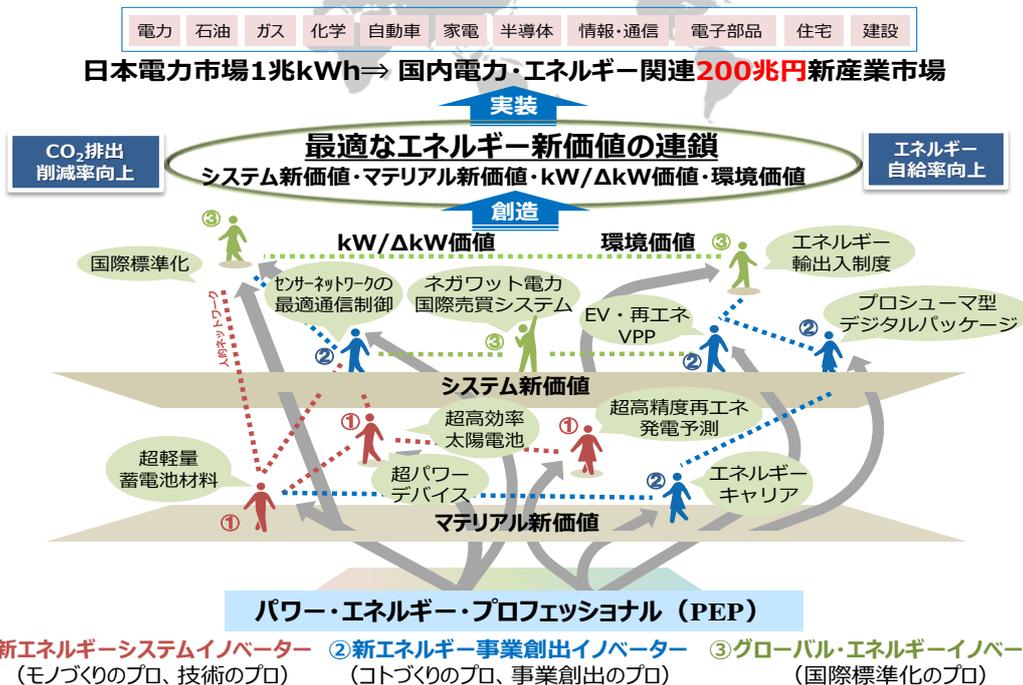


図6 輩出人材による新価値創造から電力・エネルギー新産業市場創出へのキャリアパスのイメージ

#### 4. 先行的に進められている大学全体のシステム改革および国際的水準から見た教育研究実績

本学は、教育研究の質向上を目指した大学院改革の一環として、**スーパーグローバル大学創成支援事業(SGU)**の実施を機に、国際水準の研究大学に相応しい教育研究指導體制を強化する手立てとして、平成26年度より、**ジョイント・アポイントメント(JA)制度**の規程を整備し、優秀な教員を国内外から獲得するための人事制度改革を進めている。平成29年度までに、SGUの7モデル拠点における海外研究者とのJAが、モナッシュ大学、ケースウェスタンリザーブ大学など、10例程度生じている。さらに、SGUモデル拠点のJA人事が研究科へ波及する事例も生じ、また、国内では国立研究開発法人等とのJAも複数件締結されるなど、教員人事の改革が進んできている。本プログラムにおいても、教員の

密な協働が鍵となるため、連携機関での JA 等の教員人事も見越した人事戦略を進める。

国際的水準から見た教育研究実績の例としては、海外連携大学のプログラム担当者の特筆すべき実績と効果を記す。シカゴ大のスチュアート・ロワンは、前段で記した JA 教員(ケースウェスタンリザーブ大学から異動)である。ロワンは、h-index 60 の研究業績を持つ高分子化学の研究者であり、40 人近い博士学生、30 人近いポストクの指導実績も有し、また、若くして、英王立化学会・米化学会フェロー、ACS Macro Letters 主任編集者を務める重鎮でもある。テネシー大学ノックスビル校のケヴィン・トムソヴィックは米国エネルギー省および NSF の支援を受け平成 23 年に研究所 CURENT を設立、同研究所所長を務めている。下記 7. とも関連するがトムソヴィックの参画によって、連携大学全体で米基準の研究を軸にした教育やネットワークを利活用することができる。ダニエル・シュワルツは、ワシントン大学 Clean Energy Institute(平成 25 年ワシントン州出資によって設立)の所長を務め、同大理工学領域で約 120 人の博士学生を対象とする育成部門の責任者でもある。同大はシアトル市に本社をおくボーイング、マイクロソフト、アマゾン等の世界企業とも緊密に連携しており、社会人大学院教育にも豊富な実績を有する。シュワルツの参画によって、国際的に評価高いワシントン大学の教育研究の資源を本申請プログラムにも活用することが可能となる。

#### 5. ナノ・ライフ創新研究機構

本学では進展著しい研究分野に迅速に対応するため、既存の学部・研究科あるいは付置研究所と同様の組織を有期で設置可能とする「研究機構」組織の導入を平成 13 年より行い、本機構はその第一号として設置された。現在その傘下にはナノテクノロジー研究所、ナノプロセス研究所、スマートエナジーイノベーションセンター等 8 つのプロジェクト研究所を有し、COI ストリーム「さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する理想自己と家族の絆が導くモチベーション向上社会創生拠点」や複数の JST-CREST を始め 20 を超える大型の公的プロジェクトが進行している。また文部科学省・ナノテクノロジープラットフォーム事業・微細加工プラットフォームのひとつの拠点となっており、全国の産学官の研究者に対する支援を行っている。さらに本機構には産学官の連携を推進する「ナノテクノロジーフォーラム」を設置し、参画する約 30 社の企業等が技術交流を始めとした活発な活動を行っている。加えてエネルギー分野に特化し、蓄電インフラシステム、蓄電池実装機器、蓄電デバイス、蓄電用機能材料の研究開発を有機的に統合させた「蓄電池コンソーシアム」を組織し、電池素材から自動車などユーザーサイドまで包括的な産学連携を推進している。また本学先進理工学研究科・ナノ理工学専攻をはじめとした大学院教育の場として毎年 300 名超の学生が本機構傘下の各研究所の施設を利用している。本プログラムではこのような実績を活かし、上記のフォーラムやコンソーシアムとの産学官連携も含め、実践的な教育研究の場を提供することが期待される。

#### 6. EMS (エネルギーマネジメントシステム) 新宿実証センター

本学では、東日本大震災後のエネルギー政策の一環として経済産業省が推進した需要のスマート化、自動エネルギーマネジメント、デマンドレスポンスの導入の検討と連携し、この実現の鍵となる異なるサーバー、デバイス、機器が通信によってつながりデータ交換が可能になること、即ち、**相互運用性(インターオペラビリティ)**を国レベルで確保する環境整備を行うことをミッションに、平成 24 年に EMS 新宿実証センターを構築した。未来のスマートハウスを想定し、電気自動車、太陽光発電、燃料電池、コジェネレーションシステム、ヒートポンプ給湯機や普及機器であるエアコンなどの機器を住宅エネルギーマネジメントシステム(HEMS)と**国際標準通信規格 ECHONET-Lite**(日本が開発した住宅エネルギー機器・電気製品等を制御する IEC 規格)で接続し、HEMS に搭載する任意の制御アルゴリズムで制御できる環境を作り上げた。また、電力会社やアグリゲーター(電力需要を束ねてエネルギーマネジメントサービスを提供する企業等)が HEMS にデマンドレスポンスに関する要請を行うための**標準通信規格 OpenADR**(米国の公知の民間規格、IEC 国際標準化提案中)を採用し、HEMS を通じた需要家機器の協調動作を世界で初めて実現するとともに、経済産業省を通じて国内推奨規格として実装ガイドラインを発行した。本センターとその実績は、今後のパワーリソース・オプティマイズにおいても必要な拡張を行いながら社会実装の鍵となる相互運用性確保とそのための通信規格の整備を行う、中立的かつ世界的にも類をみないものであり、本プログラムにおける研究教育に活用していく。

#### 7. EPRI (Electric Power Research Institute : 米国電力研究所) との連携

本プログラムでは、米国において、電力事業分野の諸課題、将来への革新のために、調査・研究・分析・標準化・実証試験・導入支援等を包括的に行う EPRI と連携する。EPRI は、米国ならびに世界の民間電気事業者(発電、系統運用、送電、配電、小売)の会費・研究費(エネルギー省等からの受託分を含む)で運営される非営利の民間研究機関であり、原子力、火力、電力輸送・利用、環境の 4 つのセクターに約 700 名の研究者・技術者が従事(約半数が Ph. D. 保有)している。日本と異なり、米国の電力会社は自ら R&D を行うことは少なく、それぞれのニーズに応じて EPRI の研究プログラムに加入するのが一般的で、電力会社の課題と直結した活動を行う唯一の機関である。

本学スマート社会技術融合研究機構の事務局長であり本プログラム担当者の石井は EPRI の評議員兼アドバイザーを務めている。石井のコーディネートにより、リーディング理工学博士プログラムにおいて学生 3 名がテネシー州ノックスビルにある電力輸送・利用の拠点で 3 か月間のインターンシップを実現した。EPRI との連携をさらに強化し、新たに世界の電力・エネルギーの最新動向や将来ビジョンに関わるセミナーの開催、インターンシップ実施等により博士学生の国際的競争力を高める。

ポンチ絵は不要です。

(7) 大学院教育研究に係る既存プログラムとの違い【1 ページ以内】  
 <プログラム担当者が、大学院教育研究にかかる既存のプログラムを継続実施中の場合のみ記載。それ以外の場合は該当なしと記載。>  
 (現在国の教育・研究資金により継続実施中である大学院教育研究に係るプログラム(博士課程教育リーディングプログラム、その他研究支援プロジェクト等)に、当該申請のプログラム担当者が関わっている場合(プログラム責任者として複数プログラムに関与している場合を除く)には、当該プログラム及び関与しているプログラム担当者の氏名を明記の上、プログラムの内容、対象となる学生、経費の使用目的等、本プログラムとの違いを明確に説明してください。  
 特に博士課程教育リーディングプログラムについては、国の補助期間が終了している場合についても、継続されているプログラムとの違いを上記にならい記述してください。)

**1. 博士課程教育リーディングプログラム「早稲田大学リーディング理工学博士プログラム」**

当該プログラムは、林 泰弘、本間 敬之、朝日 透、村田 昇、小柳津 研一、関根 泰、多辺 由佳、大木 義路、石山 敦士、松永 康、黒田 一幸、松方 正彦、川原田 洋、庄子 習一が参画している。

次々世代のエネルギー科学の基となる物理・化学・電気・生命科学などを横断する学問領域「エネルギーの理工学」のディシプリンのもと、バイオ系から素粒子物理まで、幅広い領域において国際的な舞台でイノベーションの創出に挑戦できる理工学博士人材の養成を目的としている。当該プログラムは先進理工学研究科に立上げた 5 年一貫制博士課程の新専攻「先進理工学専攻」において実施しており、学生は全員この専攻に在籍する形となっている。

一方、本プログラムは、当該プログラム(平成 24~30 年)の成果を契機に、対象とする領域を「電力・マテリアル分野」に特化・深堀し、国公私立 13 大学のオールジャパン連携体制のもと新たに構築するものである。本学先進理工学専攻の学生に限らず、広く全国の電力・エネルギー関連分野の学生や社会人を対象に博士人材を育成し、また本学内においても学部・研究科を超えた全学的な文理融合プログラムとして発展させるため、当該リーディングプログラムでは対象外であった研究科も参画することとなる。平成 31 年 4 月に学内のみならず各連携大学の学生を正式に受入れて卓越科目の履修を開始するため、本年度から大学間の距離を超えた連携教育を実現するためのコンテンツ作成やシステム構築などの試行・導入のための時間・経費が必要となる。なお、当該プログラムは先進理工学専攻として継続し、その成果である国内外の企業や大学への長期派遣、ラボローテーション、専門カリキュラムなどは本申請プログラムにも取り入れている。なお、先進理工学専攻所属の学生が本プログラムに参加を希望する場合は厳格な審査を行い、その上で修了要件を満たすために新たに追加された卓越科目を履修することになる。

**2. 博士課程教育リーディングプログラム「早稲田大学実体情報学博士プログラム」**

当該プログラムは草鹿 仁が参画しており、機械技術(=実体)と情報・通信技術の融合学として「実体情報学」を構築し、この新しい領域で技術や産業のイノベーションを先導する「システム・ネクストリーダー」の育成を目指している。機械系専攻および情報系専攻学生が対象となり、本プログラムが対象とする研究教育分野とは異なる。

**3. 博士課程教育リーディングプログラム「山梨大学グリーンエネルギー変換工学」**

当該プログラムは、内田 裕之、宮武 健治が参画し、エネルギー変換工学とその経済性に広い視野角を持ちグローバルに活躍するグリーンイノベーション創出リーダーの養成を目指して実施した。その実施にあたり大学院に「グリーンエネルギー変換工学特別教育プログラム」(5 年一貫制)を新設し、産業界・国内外研究教育機関と連携しながら教育を行い、①地球環境への高い倫理観と先見性、②基礎と実学の融合による俯瞰的能力(十分な基礎学力と先端分野の高い専門性)、③エネルギー変換工学およびその経済性に対する広い視野角の見識、④各種のエネルギー変換法をベストミックスできる高い応用力と展開能力、国際標準化への対応力、⑤グローバルコミュニケーション能力と討論能力、⑥リーダーシップとマネジメント能力を併せ持つ博士人材を数多く輩出した。平成 29 年度で A 評価を得て補助事業を終了したが、以降も学内予算(プロジェクト成果定着支援経費)により継続して実施している。

本申請プログラムの体制において、山梨大学はエネルギー変換材料や電力貯蔵システムなどの教育を担当し、連携大学間で密に連携しながら博士人材教育を実践する。平成 30 年度には博士課程改組によりグリーンエネルギー変換工学分野を新設しリーディングプログラムを継続しているが、ここで構築した独自の教育プログラム(メジャー・サブメジャー制度、関連企業でのインターンシップ、海外留学、国際ヤングセミナーの企画運営実行など)は本申請プログラムにも取り入れる。リーディングプログラムに所属する学生のうち希望者には厳格な審査を行い、これに合格した者に限り本申請プログラムに参加(編入)することを認める。この場合、当該学生はリーディングプログラムで定められている履修要件に加えて、新たに追加される卓越科目を履修することになる。



図 7 既存プログラムとの相違

ポンチ絵は不要です。