

## 微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出

CREST・さきがけ複合領域 （期間: 2015-2022年度）



研究総括 谷口研二

大阪大学名誉教授

副研究総括 秋永広幸

産業技術総合研究所  
デバイス技術研究部門  
総括研究主幹

## (1) 研究領域の戦略目標と研究課題の選考について

- ①戦略目標設定の背景(社会的要請)
- ②公募研究課題と領域の運営方針
- ③研究課題の選考について

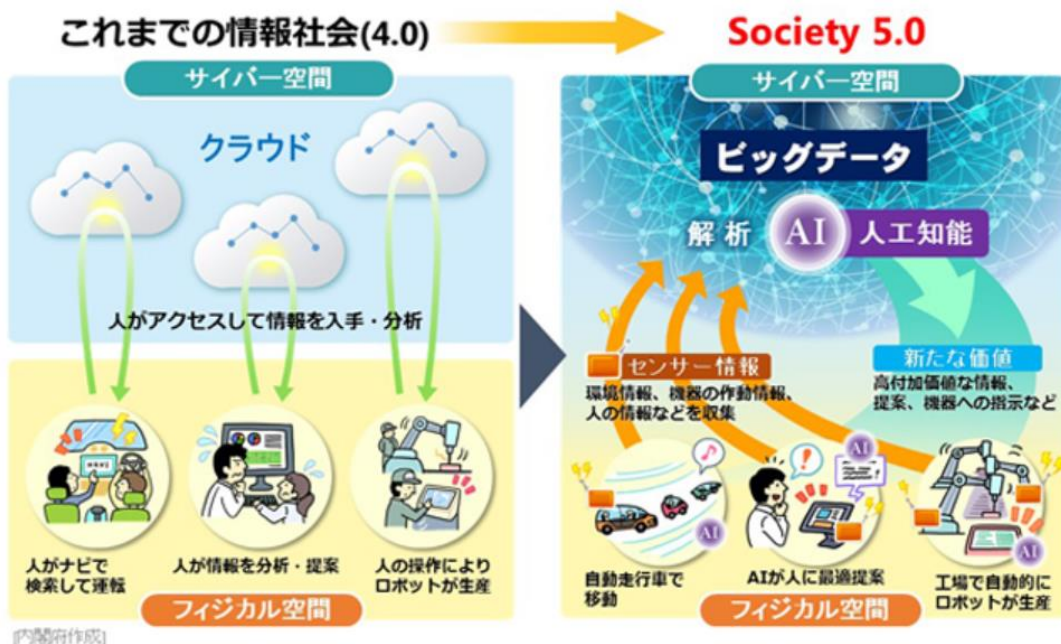
## (2) 研究マネジメントの状況

- ①領域アドバイザーの構成(専門分野、所属等)
- ②研究マネジメント(研究進捗の把握と評価、指導)
- ③その他、研究マネジメントに関する特記事項

## (3) 戦略目標の達成状況

- ①科学的・技術的な観点からの貢献
- ②社会的・経済的な観点からの貢献

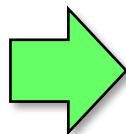
# ①戦略目標設定の背景(社会的要請)



## Society 5.0: (2018)

第5期科学技術基本計画において  
我が国が目指すべき未来社会の姿

超スマート(Connected)社会を支える数多くのセンサーの動力源  
⇒ 環境発電(代替電池)



### 戦略目標:

研究推進の際に見据えるべき将来の社会像

微小エネルギーからの電気エネルギー創出が可能となることにより、… センサー、モビリティ向けデバイス、生体デバイス等の普及が加速し、IoT、ビッグデータの活用による次世代型の環境保全・ものづくりが実現している社会。

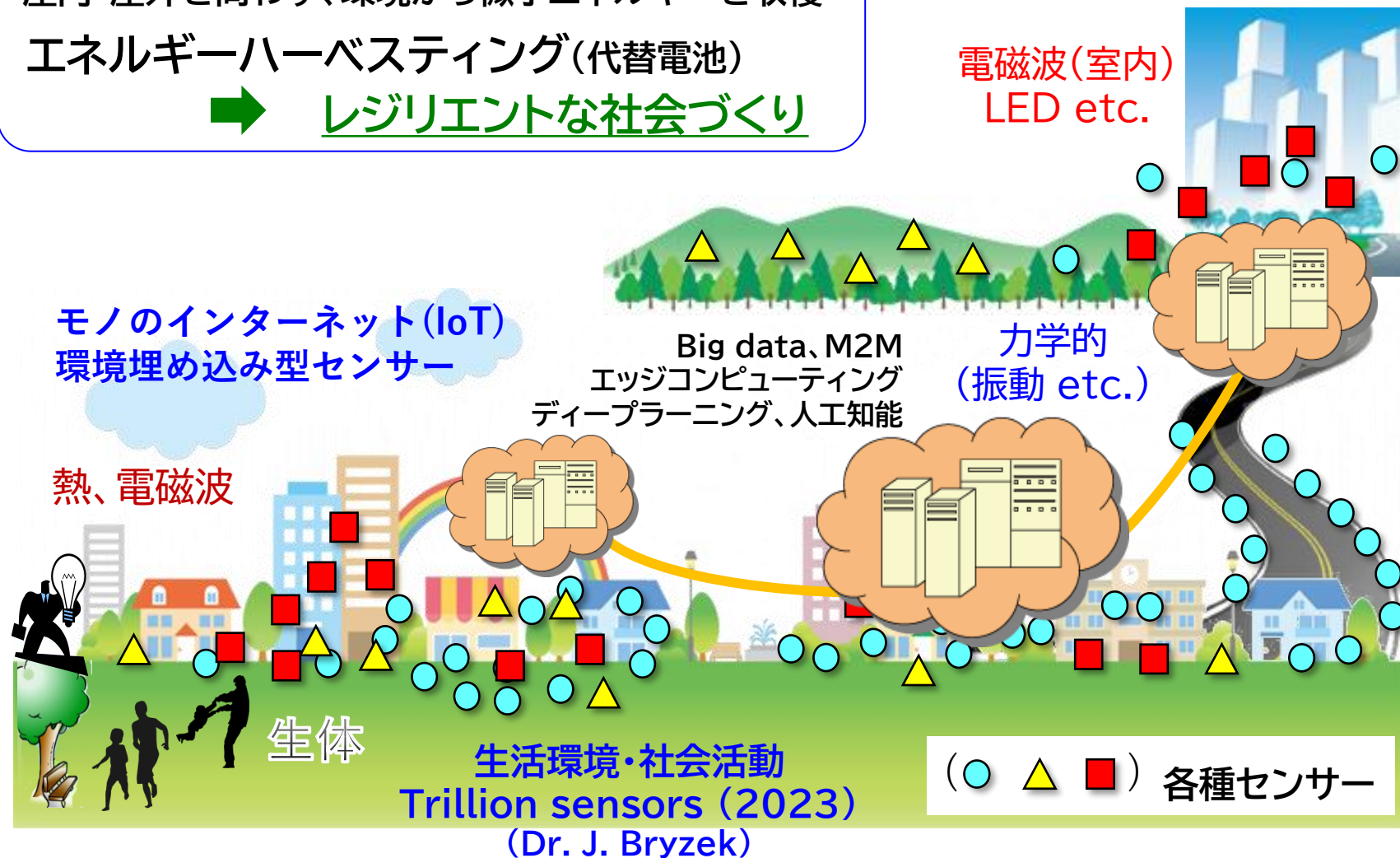
## ②公募研究課題と領域の運営方針 (公募説明会資料より)

屋内・屋外を問わず、環境から微小エネルギーを収穫

エネルギーハーベスティング(代替電池)

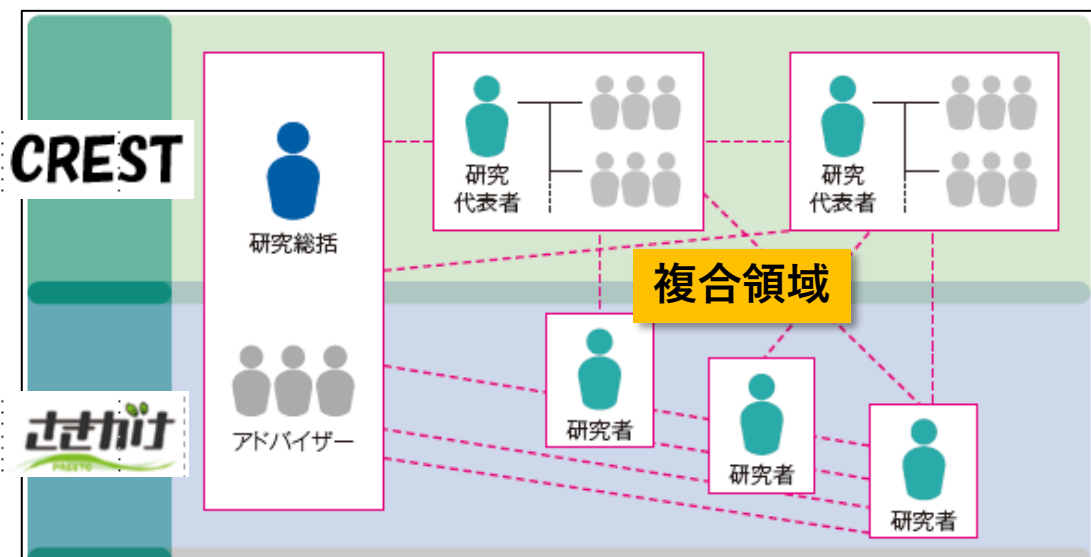


レジリエントな社会づくり



# 募集課題と領域運営の方針

- 環境に存在する未利用で微小なエネルギーを、センサーや情報処理デバイス等での利用を目的とした  $\mu W \sim mW$  程度の電気エネルギーに変換(環境発電)する基盤技術の創出を目指す。
- 環境エネルギーを電気エネルギーに高効率に変換するための基盤技術の構築とその源となる基礎学理、全く新しい原理・新物質または新デバイスなどの創出です。

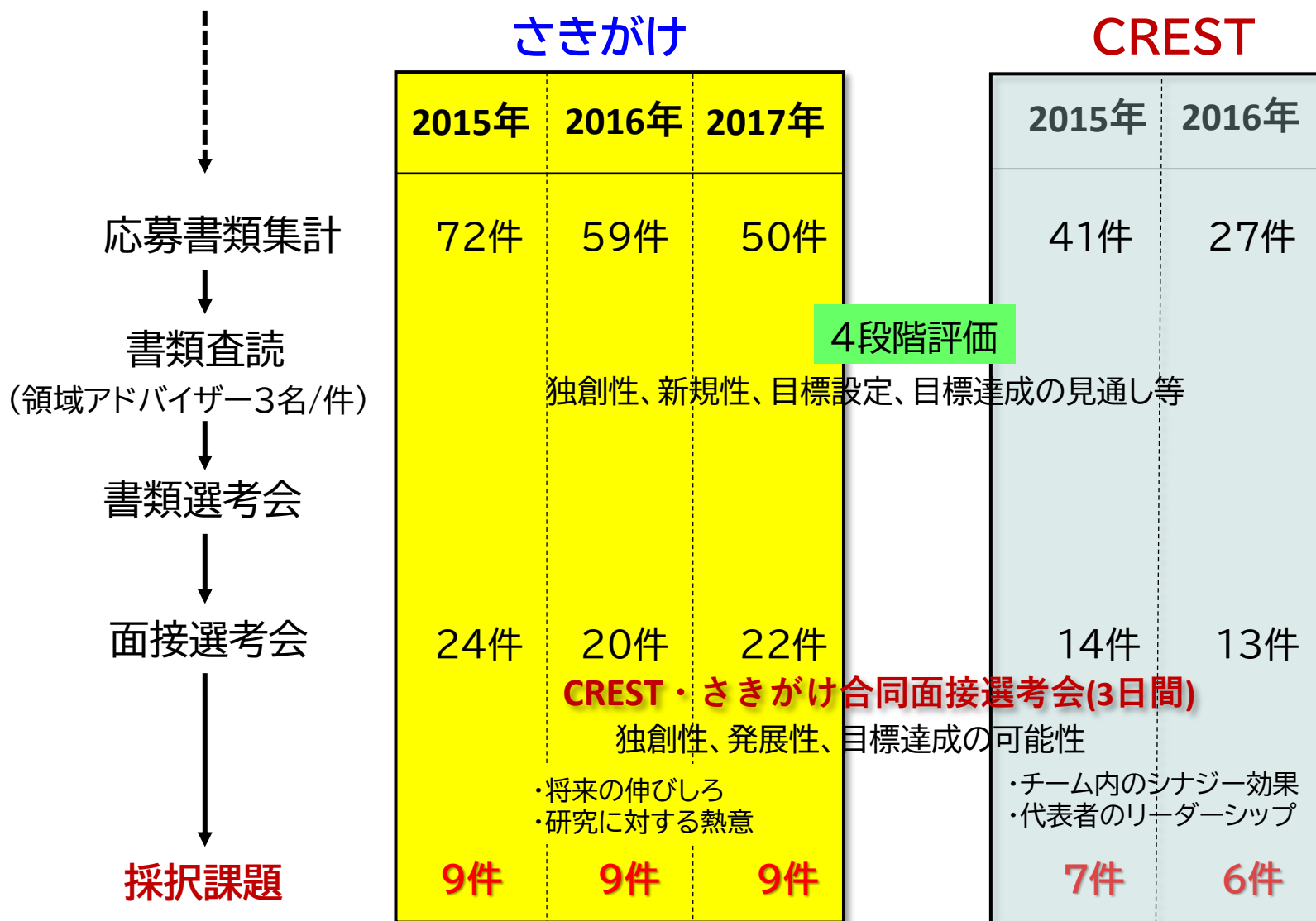


CREST: 3年半後、一旦終了  
→ 領域内再公募・Step up審査

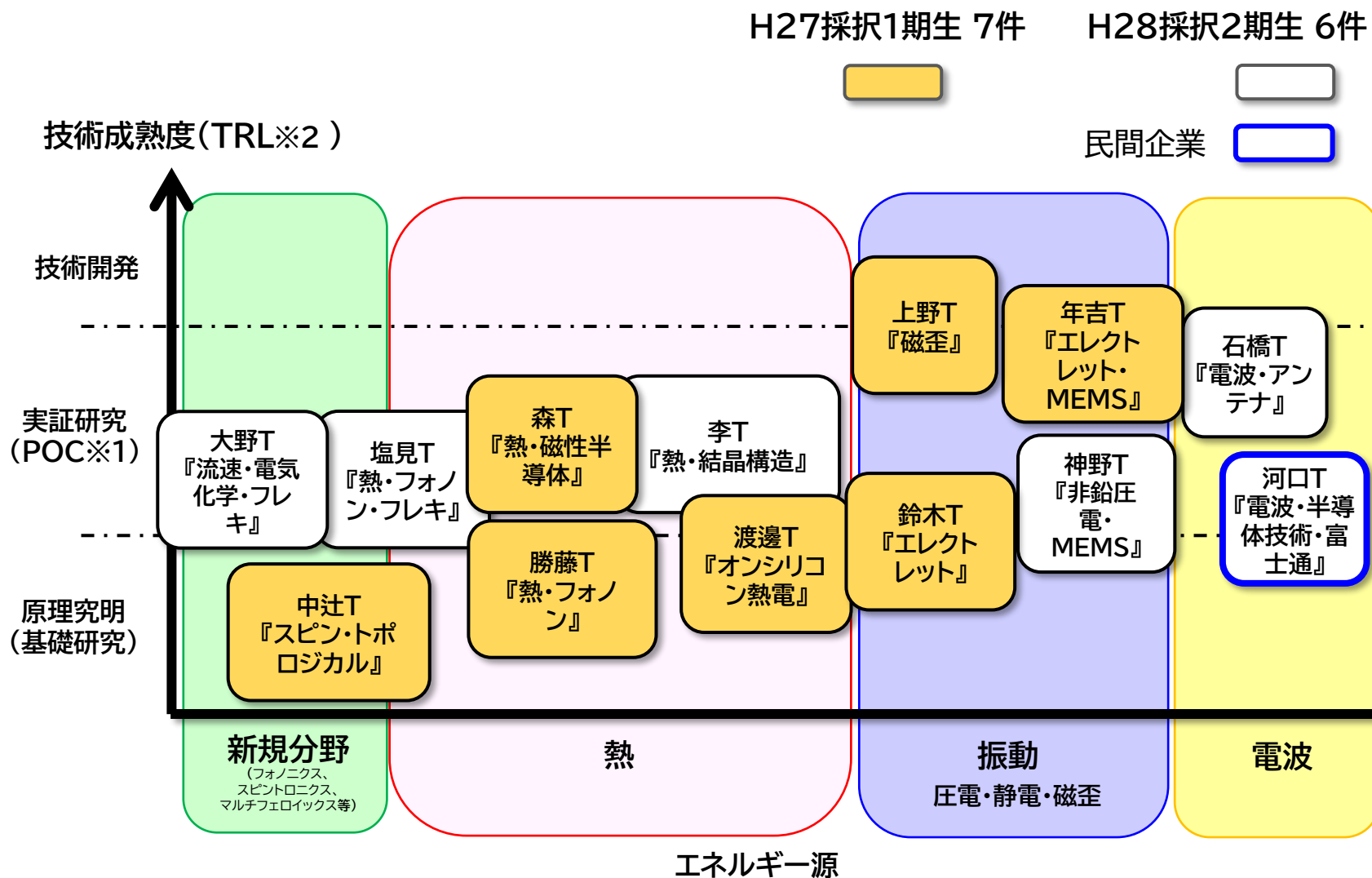
さきがけ: 3年半後、終了  
SU-CRESTへの応募可

### ③研究課題の選考について

選考方針検討会(利害関係、書類審査の評価基準など)



# CREST 採択課題



※1: POC = Proof of Concept

※2: TRL = Technology Readiness Level

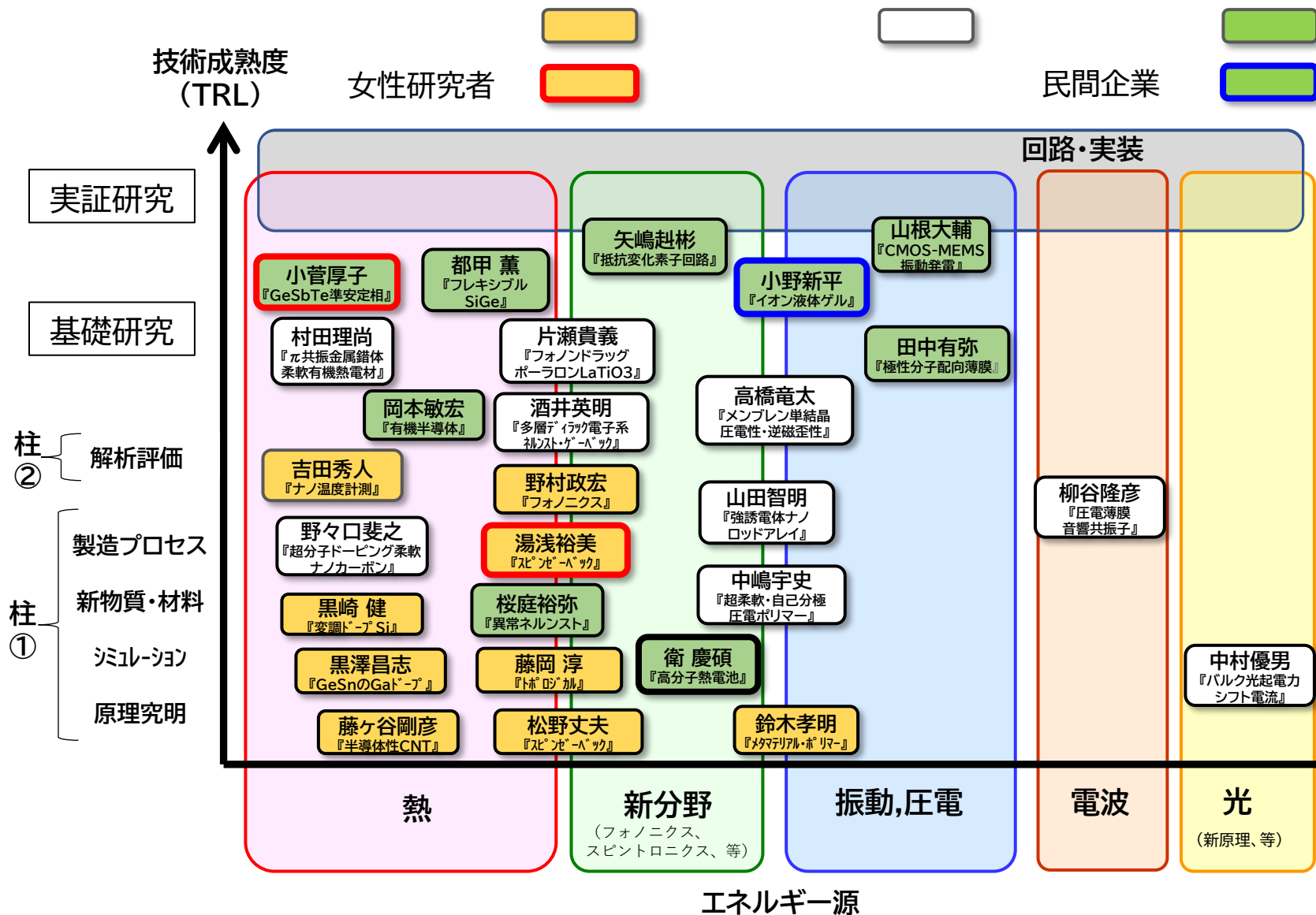


# さきがけ 採択課題

H27採択1期生 9件

H28採択2期生 9件

H29採択3期生 9件





# 研究推進の方針や期待

- 物質探索・材料開発においては、膨大な数の試行錯誤的な実験を繰り返すのではなく、理論や計算機シミュレーションなどによる“**科学的に裏打ちされた研究開発の方法**”に基づいた研究を行ってください。
- 研究遂行の過程では、特定の物質・材料に限定されない原理を見出し、それを**普遍的なモデル**にまでまとめ上げて、**新しい学問分野を創出**することを期待しています。
- 研究の過程でのセレンディピティを否定するわけではありませんが、発見された新規の物性や物質については、**その発現根拠を明確にして、高性能化を図る方策を科学的に検討し、**実用化に向けてステップアップさせることを期待します。

## (1) 研究領域の戦略目標と研究課題の選考について

- ①戦略目標設定の背景(社会的要請)
- ②公募研究課題と領域の運営方針
- ③研究課題の選考について

## (2) 研究マネジメントの状況

- ①領域アドバイザーの構成(専門分野、所属等)
- ②研究マネジメント(研究進捗の把握と評価、指導)
- ③その他、研究マネジメントに関する特記事項

## (3) 戦略目標の達成状況

- ①科学的・技術的な観点からの貢献
- ②社会的・経済的な観点からの貢献

# ①領域アドバイザー(AD)の構成

領域アドバイザー名	着任時の所属	役職	任期
青合 利明	千葉大学 自然科学系教育研究機構	特任教授	2015年7月～
大野 英男	東北大学 電気通信研究所	教授	2015 年 7 月 ～ 2018年3月
斎藤 英治	東京大学 大学院工学系研究科	教授	2015年7月～
篠原 真毅	京都大学 生存圏研究所	教授	2015年7月～
白石 賢二	名古屋大学 未来材料・システム研究所	教授	2015年7月～
高柳 万里子	東芝デバイス&ストレージ株式会社 技術企画部	参事	2015年7月～
竹内 敬治	株式会社エヌ・ティ・ティ・データ経営研究所 社会・環境戦略コンサルティングユニット	シニアマネージャー	2019年4月～
藤田 博之	東京都市大学 総合研究所 / キヤノンメディカルシステムズ	教授 / 先端研究所所長	2015年7月～
舟窪 浩	東京工業大学 物質理工学院 材料系	教授	2015年7月～
宮野 健次郎	物質・材料研究機構	フェロー	2015年7月～
山田 由佳	パナソニック株式会社 ビジネスイノベーション本部 事業開発センター	総括担当	2015年7月～

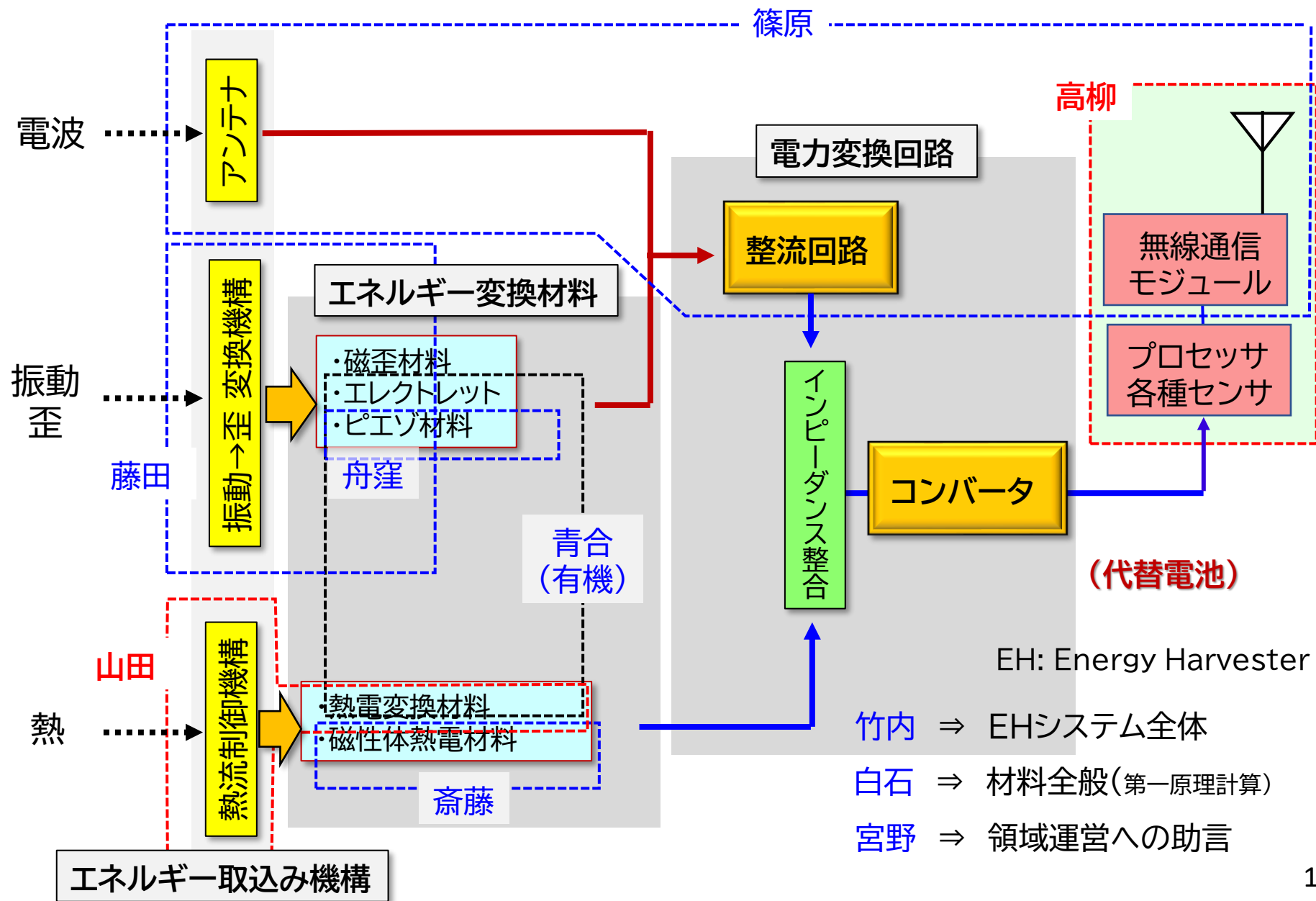
→ 東北大学総長

大学教員(5名) 齊藤AD(東大)、篠原AD(京大)、白石AD(名大)  
藤田AD(都市大/キヤノンメディカルシステムズ)、舟窪AD(東工大)

国研所属(1名) 宮野AD(NIMS)

企業経験(4名) 青合AD(富士フィルム⇒千葉大)、竹内AD(NTTデータ)  
高柳AD(東芝)、山田AD(パナソニック⇒産総研)

# 領域アドバイザーの専門領域



# さがけ研究者担当アドバイザー(AD)

## 目的: 研究課題に対する細やかな指導と進捗管理

- ・研究指導・アドバイス(サイトビジット、個人面談、領域会議)
- ・研究相談への対応(適宜)

アドバイザー	一期生	二期生	三期生
青合 利明	藤ヶ谷剛彦	野々口斐之	衛 慶碩 岡本 敏宏
齊藤 英治	松野 丈夫		(桜庭 裕弥)
篠原 真毅		柳谷 隆彦	矢嶋 赳彬
白石 賢二	野村 政宏	村田 理尚 酒井 英明	小野 新平 (桜庭 裕弥)
高柳万里子	黒澤 昌志 湯浅 裕美		山根 大輔
藤田 博之	鈴木 孝明	山田 智明	田中 有弥
舟窪 浩	吉田 秀人	(高橋 竜太)	(高橋 竜太)
宮野健次郎	藤岡 淳	片瀬 貴義 中村 優男	都甲 薫
山田 由佳	黒崎 健	中嶋 宇史	小菅 厚子

高橋: 台風による研究室水没災害により研究期間を1年延長、3期生として卒業

## ②研究マネジメント(研究進捗の把握と評価)

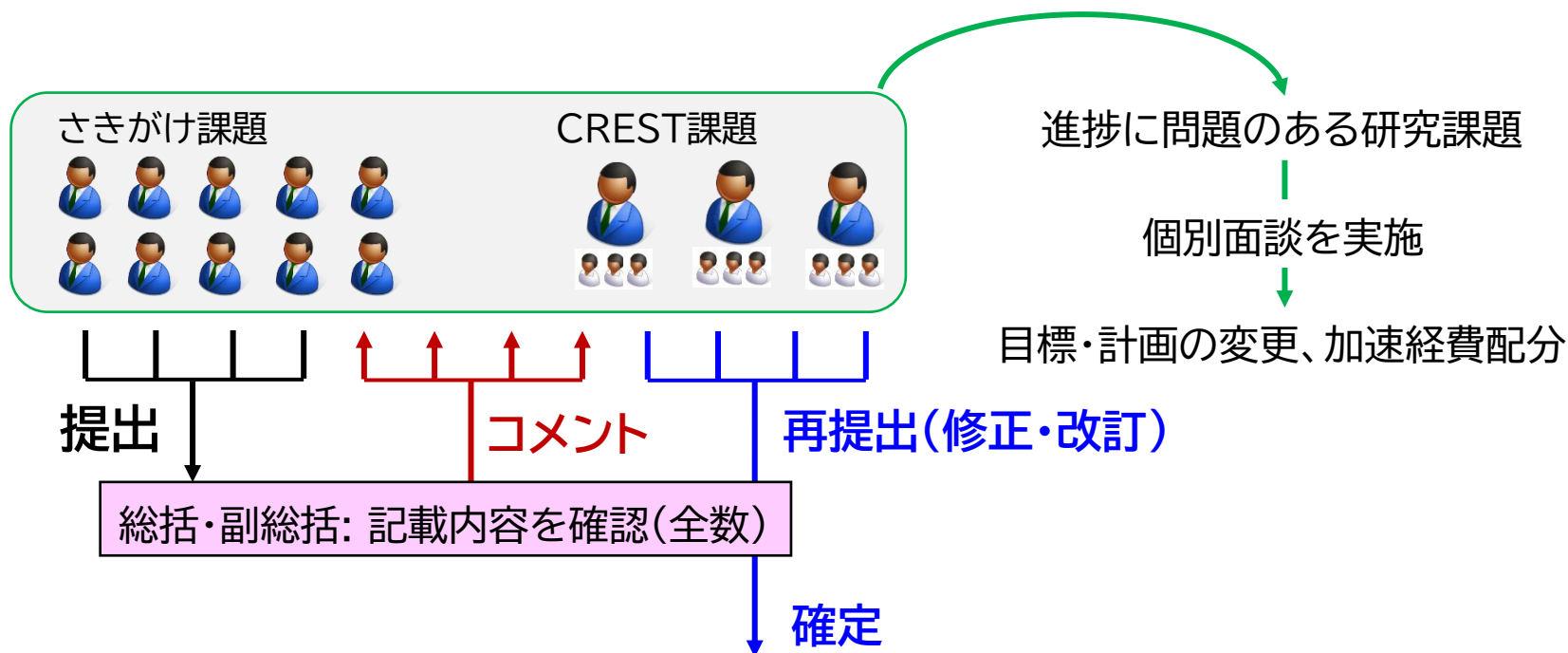
### ・提出書類による研究進捗の把握・評価

年度研究計画書

1回/年

研究進捗報告書

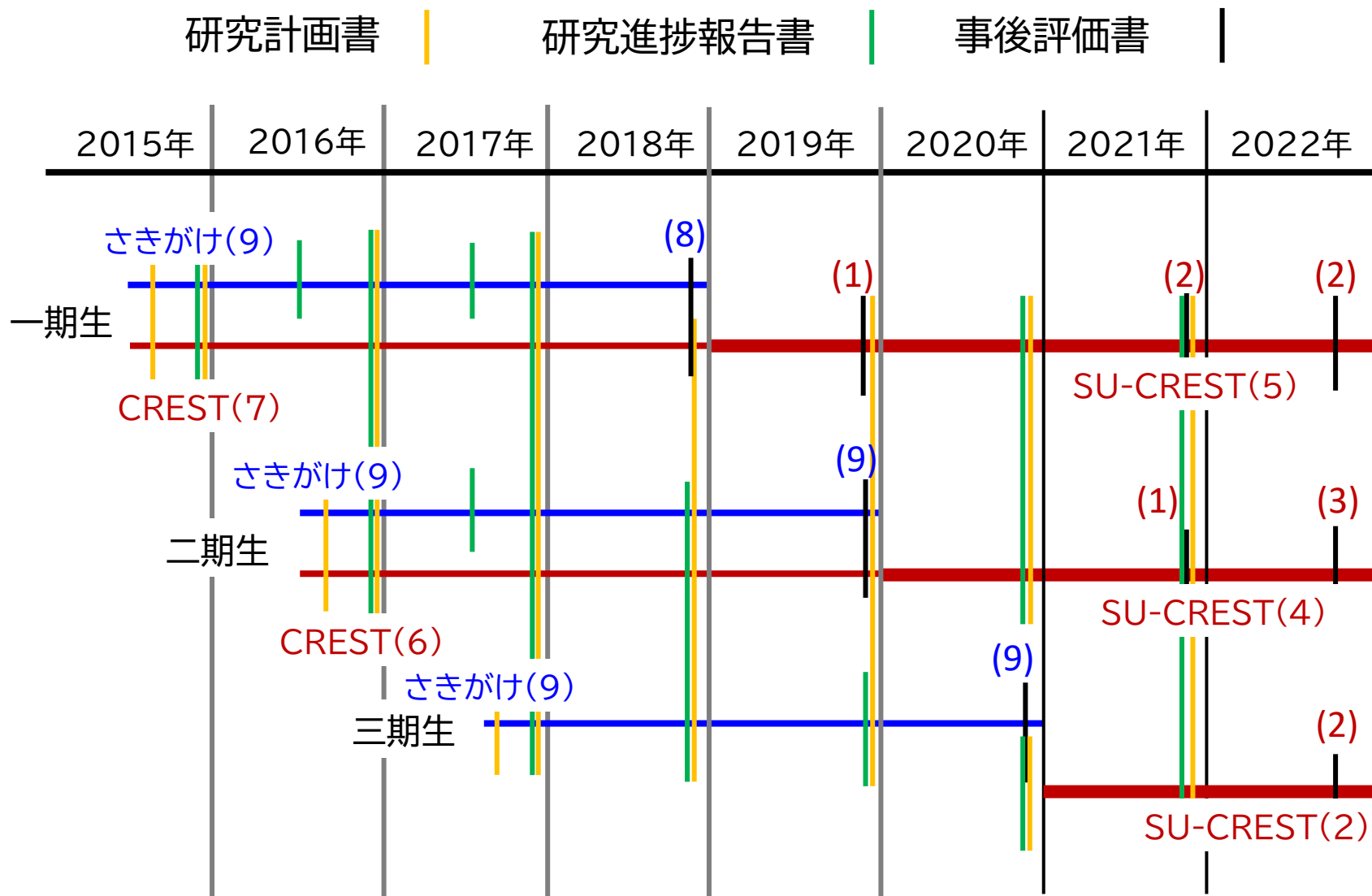
1回/年(CREST、さきがけ 2018年度～)  
2回/年(さきがけ 2015年度～2017年度)



コメント内容

①研究経費の使途、②研究計画(内容)の修正、③知財確保要請、など

# 提出書類による研究進捗の把握(時期)



( )内は開始または終了時点でのチーム数(さきがけ研究者数)



# 面談・会議(対面)による研究進捗の把握(時期)

キックオフ会議

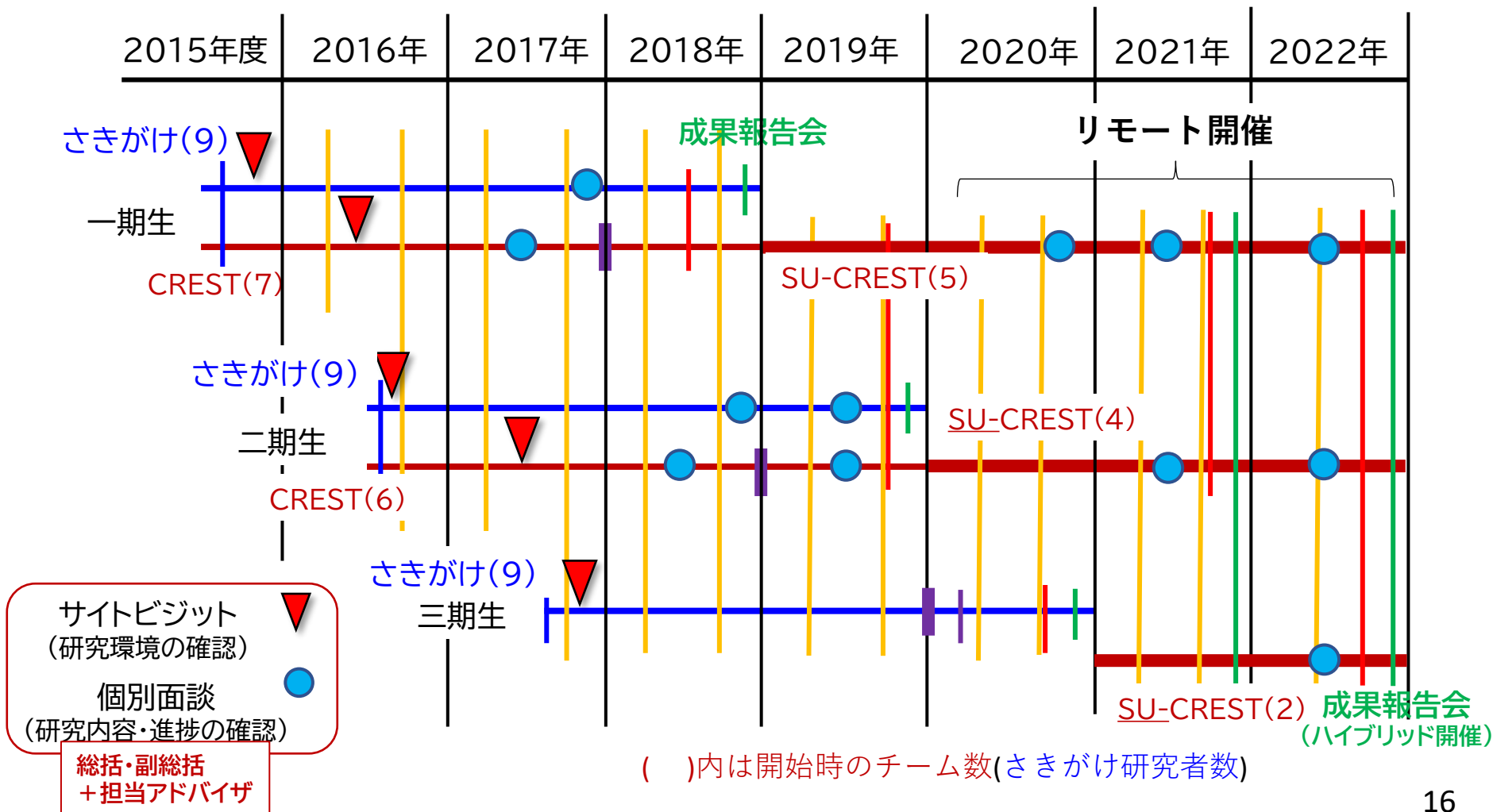
合同領域会議

領域メンバー全員

CREST-SU選考会

事後評価会

総括・副総括+領域アドバイザー



### ③研究マネジメントの特記事項

---

(1) **完全**複合領域運営

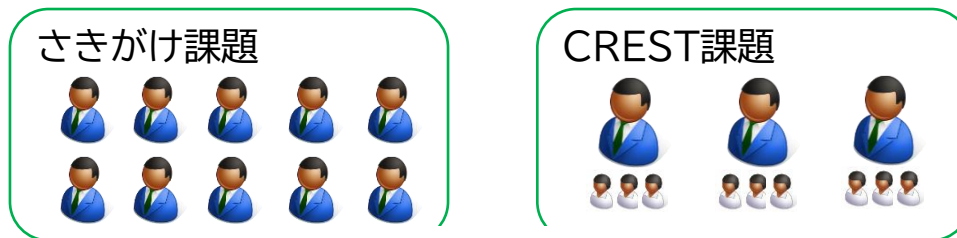
(2) 研究管理技法「**おにぎり**」の活用

(3) **ステップアップ**CREST制度

(4) 追加研究費配分上の工夫

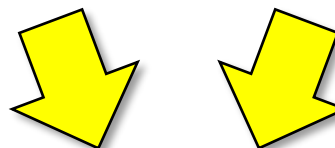
} 本研究領域  
オリジナル

# (1) 完全複合領域運営



課題採択時

若手研究者の育成  
(蛸壺型研究からの脱却)



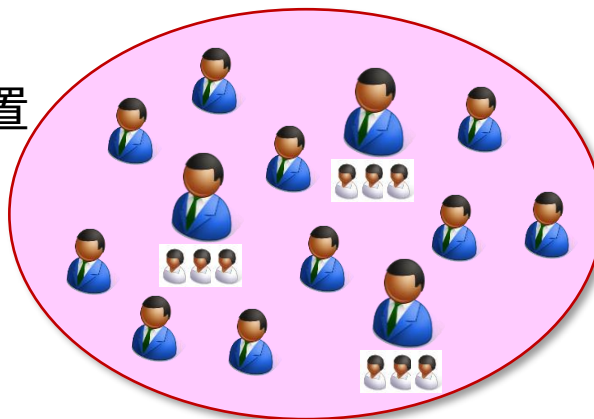
- ・EHは統合技術(領域内協力)
- ・評価・解析技術の分野横断的に利用可(役割分担)

CREST・さきがけ一体運営

**One team (人的ネットワークの形成)**

共同利用実験装置や評価装置  
への研究費の優先配分

試料作製・試料提供・評価  
理論・解析面での相互協力



合同領域会議(合宿形式)

展示会・テーマ別研究会  
国際会議の開催

SciFoS活動(産業界の求める研究)  
海外交流の促進

# 研究者間ネットワーク形成の状況



CREST

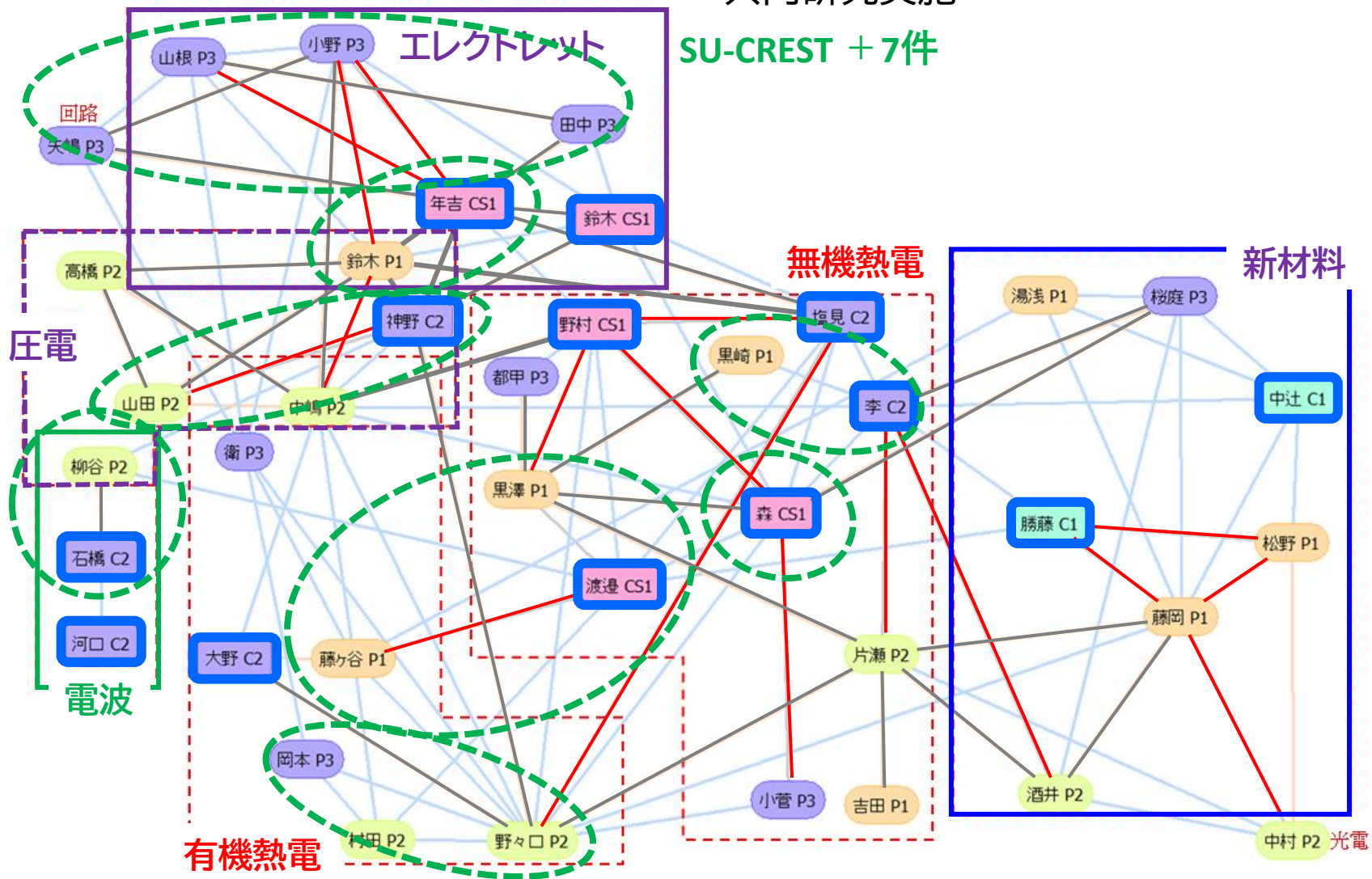


共著論文あり(16件)

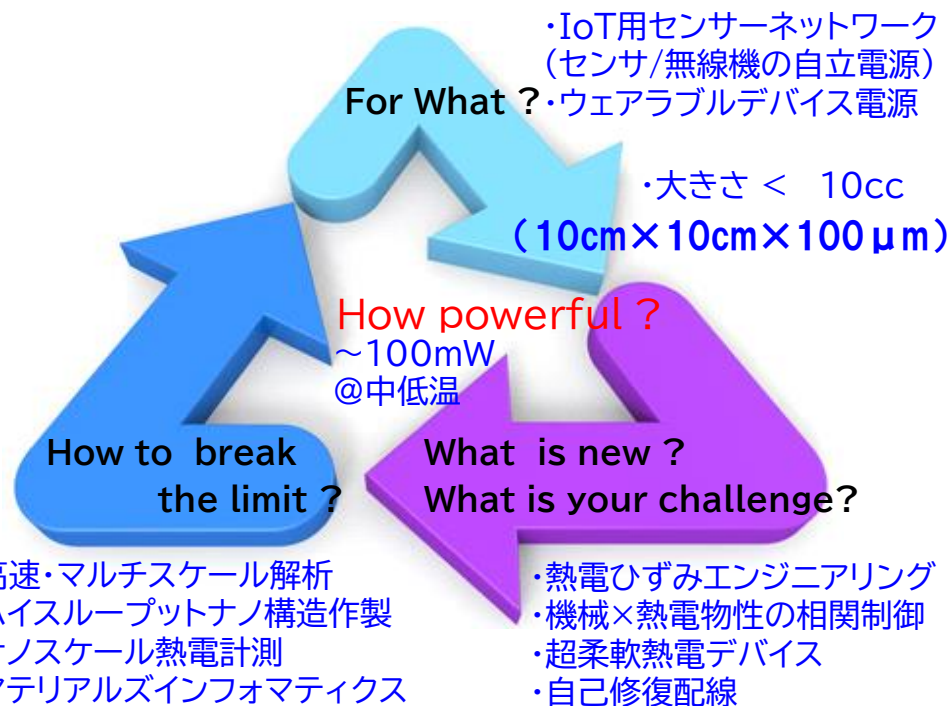


共同研究実施

SU-CREST + 7件



## (2) 研究管理技法「おにぎり」の活用



### 本研究の新規な点、大きく挑戦する点

- 熱電ストレインエンジニアリング
- 延伸可能な超柔軟性熱電デバイス
- コスト, 機械・伝熱機能の両立⇒超汎用化

### 目標を達成するための手法

- ナノスケール機械・熱電性能解析・測定
- マテリアルズ・インフォマティクス
- ハイスループットスパッタ+自己修復配線

### グループ連携マネジメントの方針

- テーマの相互乗り入れによる連携強化
- (関東+若手)⇒高頻度の物理的な交流

#### 2016年度～2019年度

##### 本研究期間で達成する目標

- 安価材料で中低温域のZT=1超
- 熱電デバイスの延伸性を1.5倍
- 基板の熱伝導率を~10W/mK
- 通信デバイス作製⇒性能実証

#### 2020年度～2022年度

##### 研究期間終了後の研究内容

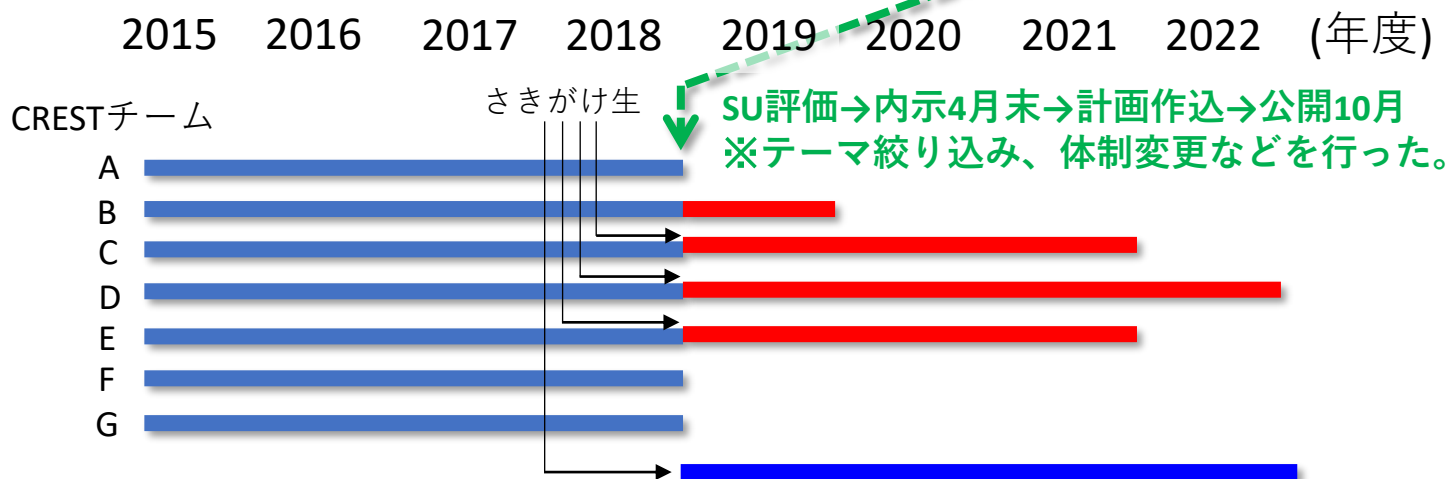
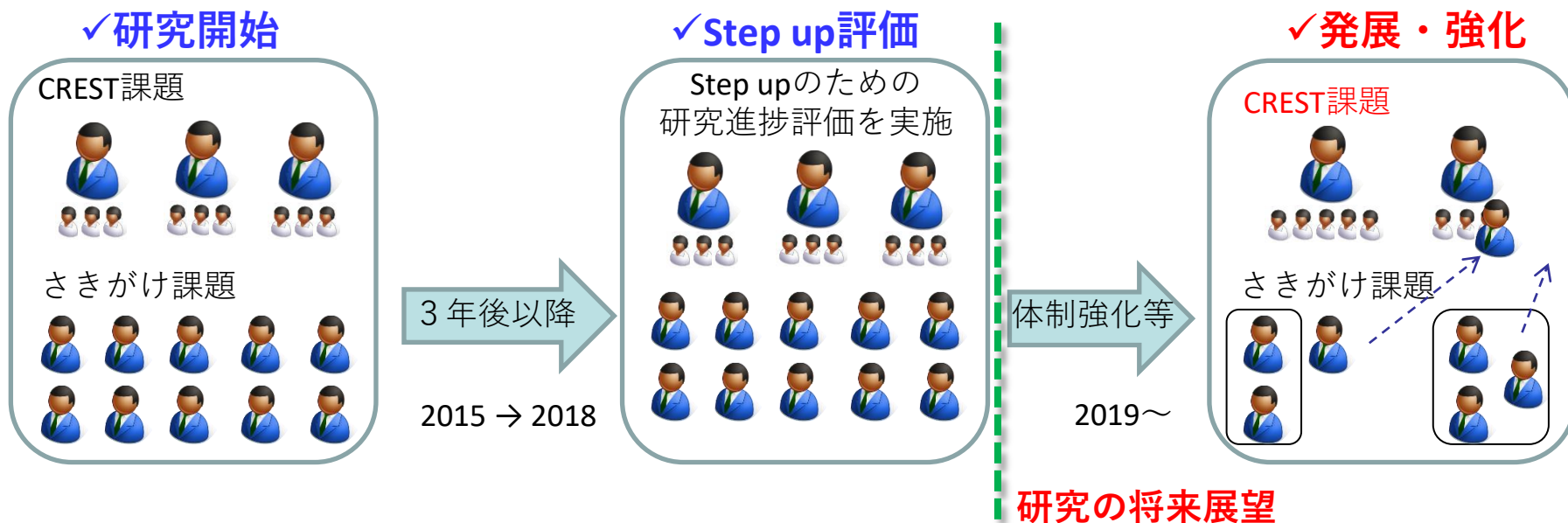
- 製造プロセスの高速・低コスト化⇒産業ニーズへの適合
- 他のグループで開発される熱電材料をフレキシブル化

#### 2024年頃

##### 応用イメージ

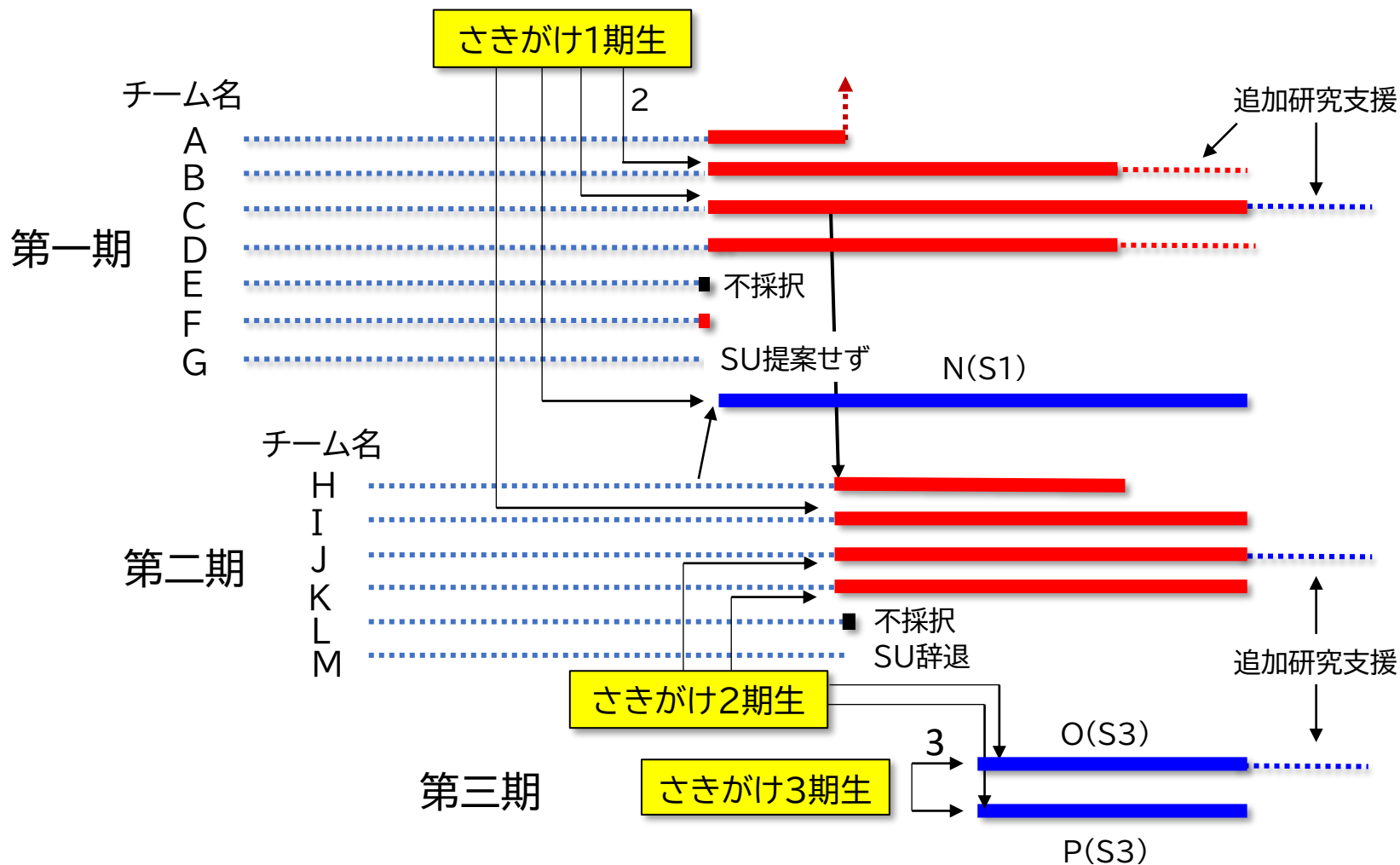
- IoTセンサー自立電源(工業プラント, インフラ, 住居, etc)
- ウェアラブル電源

### (3) ステップアップCREST制度



# CREST-ステップアップ状況

2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 (年度)



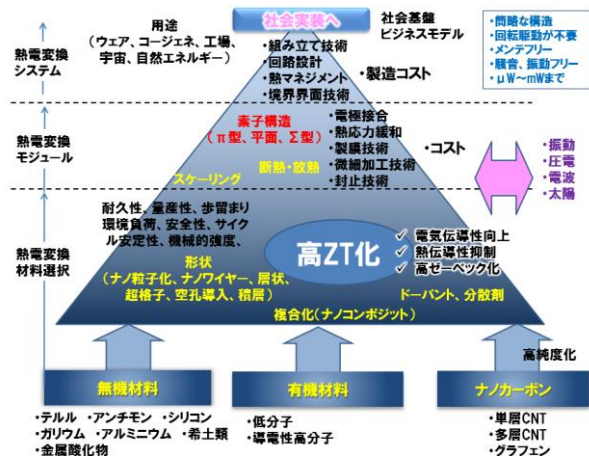
矢印横の数字: 主たる共同研究者としてSU-CRESTに参加したさきがけ生の数



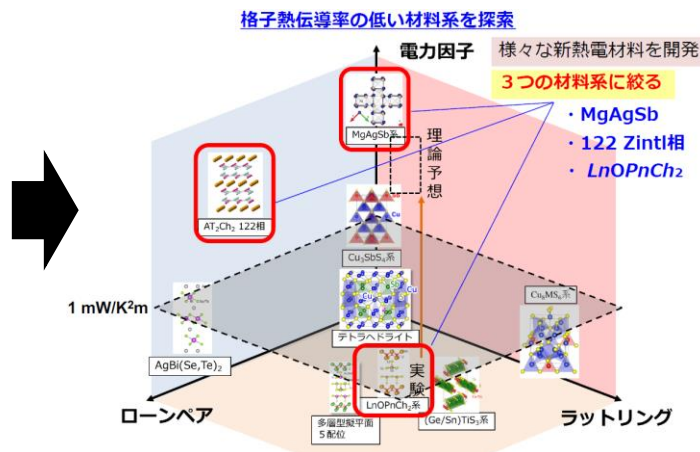
# 追加研究費配分の効果

野村チーム(2021年度) フリップチップボンダー購入の支援  
→ 冷却効率が上がり、発電量が飛躍的に向上 @ 領域会議などでの議論

合同領域会議における  
さきがけ⇔CREST意見交換



李チーム (18年度)個別面談  
→加速予算配賦→SU計画(19年度)



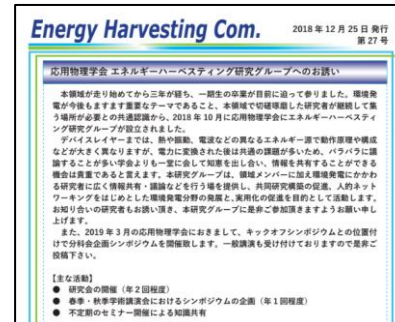
**Teフリー  
モジュールで  
世界最高性能**

**民間企業との  
共同研究  
試料提供・  
ノウハウ開示**

## ③研究マネジメントの特記事項(その他)

### (1) ニュースレターの発行(～39号)

- ・研究総括・副研究総括のメッセージ、関連会議の開催案内、研究成果、保有技術や研究室紹介など



### (2) 学会などを活用した特別企画

- ・応用物理学会Phonon Engineering G とJST「微小エネ」領域合同研究会(2017年7月)
- ・応用物理学会エネルギーハーベスティング研究グループの発足(2018年10月)
- ・応用物理学会講演会シンポジウム開催(2019年3月, 2020年3月, 2021年3月, 2022年9月)

### (3) 関連する論文誌に特集号を企画

- ・Science and Technology of Advanced Materials エネルギーハーベスト特集号

微小エネ領域関係者からの寄稿による特集号。

Introduction 1 (<https://doi.org/10.1080/14686996.2018.1491165>)

Review article 6報 Article 8報 からなる。通常査読を経て出版された。

「Thermoelectric materials and applications for energy harvesting power generation」は、Web公開から約4年後(2022年12月15日)で、引用311回、Altmetric 88回、閲覧 23,485回。

### (4) アウトリーチ活動

- ・公開シンポジウム
- ・CEATEC、JSTフェア展示
- ・環境発電を紹介する動画の公開(YouTube「JST Channel」)
- ・成果報告会

### (5) SciFoS活動

- ・さががけ12名、CREST 5名



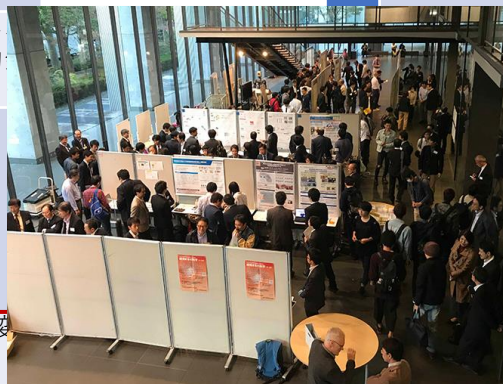
# 国際会議・シンポジウム・展示会など

## 国際会議・シンポジウム

#	日程	名称
1	2017年2月17日	第1回公開シンポジウム(ENEX2017) (熱発電中心)
2	2017年7月7日	スピントロニクス材料・強相関物質を利用した発電技術に関するワークショップ
3	2017年7月14日～15日	応用物理学会フォノンエンジニアリング研究グループ×JST「微小エネ」領域合同研究会
4	2017年11月14日～15日	さがけ領域横断シンポジウム 「ポスト新機能物質開発のための戦略会議」
5	2018年2月14日	第2回公開シンポジウム(ENEX2018) 専用個室を準備し、デモ展示+ビジネスマッチングを開催
6	2018年11月7日～8日	第3回公開シンポジウム： 講演+ポスター発表・デモ展示(約50件)+ 発電アイデアコンテスト(優秀デモ賞を表彰) ※民間企業の参加者集めを積極的に行った。 共同研究に結実した事例有。
7	2018年11月8日	国際会議：Energy Harvesting Technologies toward SDGs Goal 7～How to break the limit by cutting-edge material sciences? ～
8	2019年10月15日	CEATEC公開シンポジウム：つながるエネルギー： コネクティッド社会を支える振動発電技術
9	2019年12月9日	国際シンポジウム：MRM 2019 Satellite Symposium International Symposium on Thermoelectric Energy Harvesting ～How to bring about thermoelectric evolutions in our smart societies?～
10	2021年 2月1日～3月14日	オンデマンドセミナー「はじめての熱電変換」

## 展示会 技術相談会も併設

#	日程	名称
1	2017年 2月15日～17日	nano tech 2017 国際ナノテクノロジー 総合展・技術相談会 ・JSTブースに2件出展
2	2017年 8月31日～9月1日	JSTフェア2017ー科学技術による未来の産業創造展 ・4件をデモ展示(振動発電)
3	2018年 2月14日～16日	nano tech 2018 国際ナノテクノロジー 総合展・技術相談会 ・JSTブースに2件出展
4	2018年 8月31日～9月1日	JSTフェア2018ー科学技術による未来の産業創造展 ・専用ブースを設置し、5件のデモ展示
5	2019年 1月30日～2月1日	nano tech 2019 国際ナノテクノロジー 総合展・技術相談会 ・JSTブースに2件出展
6	2019年 10月15日～18日	CEATEC 2019 ・専用ブースを設置し、7件のデモ展示(振動発電)
7	2020年 10月20日～23日	CEATEC 2020 ・ヒトコネクションテクノロジー・オンラインコンサート、5件のバーチャル展示ブースとプレゼンテーション
8	2021年 10月19日～22日	CEATEC 2021 5件のバーチャル展示ブースと動画配信
9	2022年	CEATEC 2022 ・パートナーズパーク内に本領域のブースを設置し、振動発電、電波発電3チームからなる共同展示を行った。



CEATEC: アジア最大の  
エレクトロニクス関係の展示会



# アウトリーチ活動

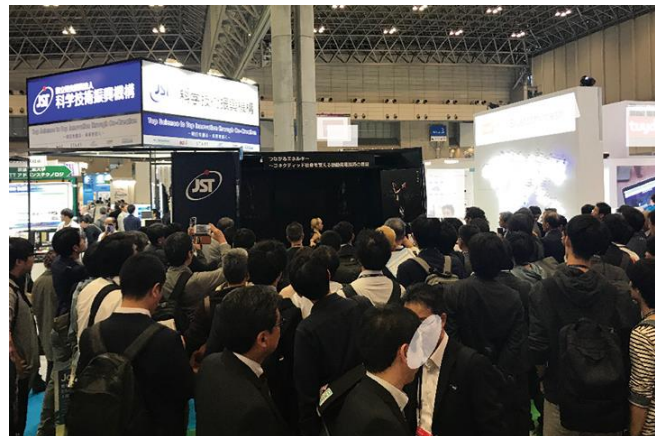
CEATEC 2019年10月15～18日

Combined Exhibition of Advanced Technologies

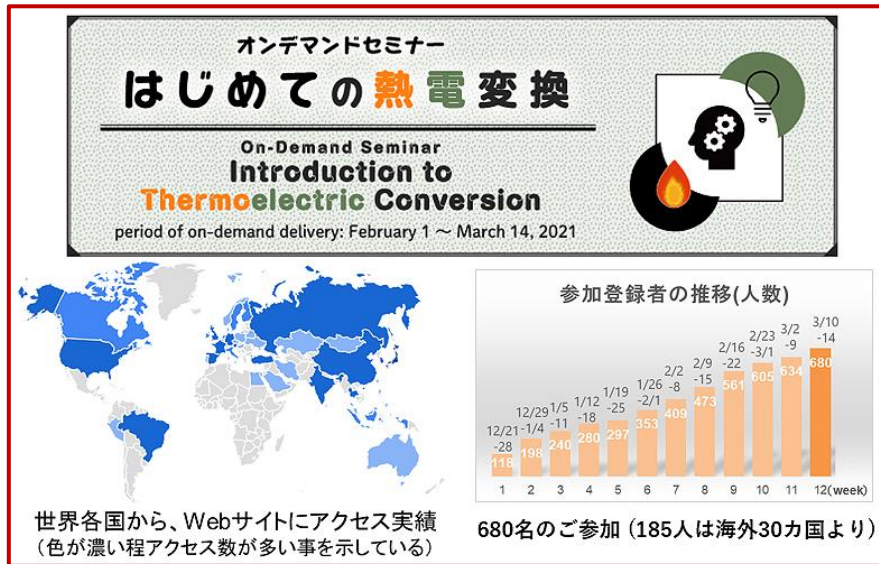


参加者数総計  
144,500人  
ブース訪問者数  
3,000組以上

振動発電による発光デバイスの展示



2021.2



LEDが無い。光の風は一期一会

電子書籍: ISTE Wiley SCIENCES “Thermoelectric generators”への展開

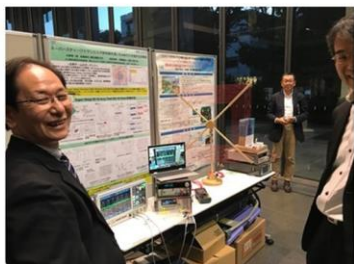
# CEATEC展示の継続による技術完成度の向上

## 展示会の機会活用

社会実装を推進するパートナーを見つけるだけでなく、展示物を準備する過程で研究開発を大きく進展させる。

### メタマテリアル・アンテナ

2.4GHz用メタマテリアルアンテナ：  
小型（4X30X66 mm），高インピーダンス  
（2 K $\Omega$ ）を実現。金属板上での性能も確認  
／2019.1 ナノテク展で展示



Cross Current 整流器を用いた、  
AMラジオ波から発電／2018.10 領域公開シンポジウム



電波のエネルギーでホタルが光る・動く／2022.10 CEATEC

広報用電子パネル文章より抜粋：

電波のエネルギーを収集し、7色のLEDが光ったり、  
電子ペーパーに表示された静止しているホタルが飛  
び立つ様子をお見せします。

開発したRFエネルギーハーベスティング技術は、  
**国内8つの企業と実用化に向けた共同研究を推進し**  
ています。

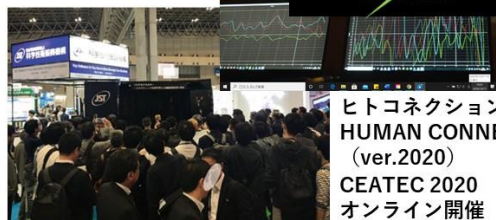
石橋チーム

本技術は、After/withコロナ時代において、たとえ人と人との触れ  
合いがサーバー空間を介したものであっても、その人間同士の心を  
共感でつなぐ「ヒト」コネクションを実現するものです。この技術  
は、社会における様々な分断が顕在化してきた中、ヒトの「芸術活  
動」を拡張することで、私たちの社会にWell-beingをもたらすもの  
になると信じています。心に孤独感や疎外感をお持ちの方、  
あるいは、視覚、聴覚、触覚に障害をお持ちの方で  
あってもエンターテインメントに参加できる、  
そのような健康な社会を実現します。

4年間の  
研究開発



CEATEC 2019  
リアル開催



ヒトコネクションテクノロジー  
HUMAN CONNECTION TECHNOLOGY  
(ver.2020)  
CEATEC 2020  
オンライン開催



(ver.2021)  
CEATEC 2021  
オンライン開催

開発内容：AIを用いて動作種別や動作強度を判定するアルゴ  
リズム。判別した結果を限りなく低パケットの動作情報に圧縮し、  
リアルタイムで情報を伝送する。

(ver.2022)  
CEATEC 2022  
リアル開催

小野チーム



# コロナ禍での成果報告会の開催

## 【情報担体】

情報担体を活用した集積デバイス・システム

## 【熱制御】

ナノスケール・サーマルマネージメント基盤技術の創出

## 【コンピューティング基盤】

Society5.0を支える革新的コンピューティング技術

## 【ナノエレクトロニクス】

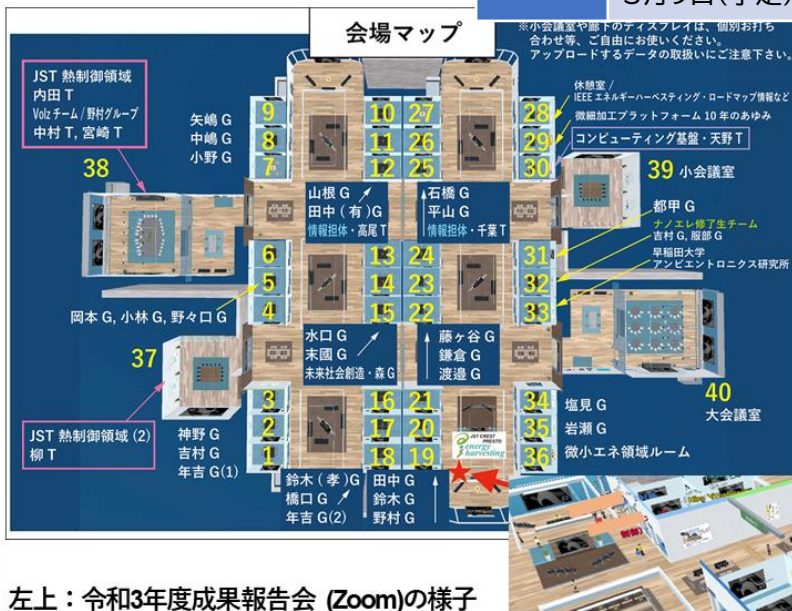
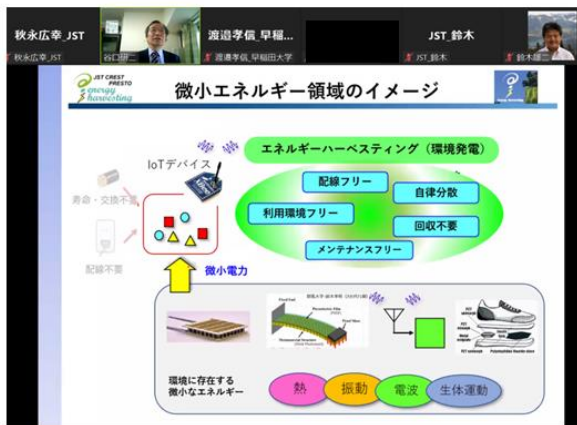
素材・デバイス・システム融合による革新的ナノエレクトロニクスの創成

## 【未来社会創造事業】

磁性を活用した革新的熱電材料・デバイスの開発

## 成果報告会

	日程	名称
第1回	2019年 2月5日	CREST・さがけ複合領域 平成30年度成果報告会
第2回	2020年 1月30日	CREST・さがけ複合領域 令和元年度成果報告会
第3回	2021年 3月9日	CREST・さがけ複合領域 令和2年度成果報告会
第4回	2022年 3月7日	CREST・さがけ複合領域 令和3年度成果報告会・成果展開VRシンポジウム
第5回	2023年 3月9日(予定)	CREST・さがけ複合領域 令和4年度成果報告会(仮)



左上：令和3年度成果報告会 (Zoom)の様子

左下：成果展開VRシンポジウム (Virbela) における招待講演の様子

右上：成果展開VRシンポジウム (Virbela) におけるポスターセッション  
会場マップ, CREST 5 領域, 未来社会創造事業他からも出展

登録人数は159名  
(内、民間企業から58名)

## 海外の研究機関との連携

### ○ 海外の研究機関との本格的連携

1件

### ○ 国際強化支援

#### ・海外研究機関との共同研究

2件

### ・海外からの研究者招聘

招聘者: 研究者(博士)

期間: 2018年10月～2018年12月

招聘者: 教授

期間: 2018年10月～2018年11月

招聘者: 教授

期間: 2019年7月2日～2019年7月18日

招聘者: 准教授

期間: 2022年5月～2022年8月

### ・海外への研究者派遣(1ヶ月以上)

派遣者: 博士課程学生

派遣期間 2017年5月～7月

派遣者: 博士課程学生

期間: 2018年4月～2018年7月

派遣者: 博士後期課程

期間: 2018年10月～2019年1月

派遣者: 特任助教

期間: 2019年1月～2019年3月

派遣者: 博士課程学生

期間: 2019年8月～2019年12月

派遣者: 特任助教

期間: 2019年10月～2019年11月

派遣者: さきがけ研究者

期間: 2019年4月～2020年3月

派遣者: 博士課程学生

派遣期間 2022年9月～2023年1月



# 「研究マネジメントの状況」のまとめ

## 領域運営の特長

### (1) 研究者間のネットワーク構築(完全複合型領域運営)

- ・相互連携型の研究を通して

One team意識の涵養、研究水準の高度化、若手研究者の視野拡大

### (2) 独自の研究開発の方法論(おにぎり) ★Original

- ・明確な目標を掲げて、技術の壁を打開する独創的なアイデアを創出する意識作り
- ・for what, what's new, how to break を自問自答、研究計画の自己管理

### (3) ステップアップCREST制度 ★Original

- ・環境発電デバイスの実証に向けて

補完技術や必要人材を見極めて、より高い目標に向かう強力な新チームに再編

### (4) 追加研究費配分上の工夫

## (1) 研究領域の戦略目標と研究課題の選考について

- ①戦略目標設定の背景(社会的要請)
- ②公募研究課題と領域の運営方針
- ③研究課題の選考について

## (2) 研究マネジメントの状況

- ①領域アドバイザーの構成(専門分野、所属等)
- ②研究マネジメント(研究進捗の把握と評価、指導)
- ③その他、研究マネジメントに関する特記事項

## (3) 戦略目標の達成状況

- ①科学的・技術的な観点からの貢献
- ②社会的・経済的な観点からの貢献

# ①科学的・技術的な観点からの貢献

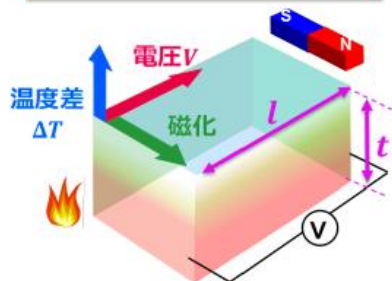
CREST	論文		特許		口頭発表	
	国内	国際	国内	海外	国内	国際
第1期	14	176	21	7	350 (99)	261(173)
第2期	7	162	27	1	358(114)	199 (96)
SU-1期	16	171	20	20	296 (92)	177 (77)
SU-2期	5	132	18	3	253 (43)	92 (34)
SU-3期	1	28	5	4	78 (38)	35 (32)
領域合計	42	650	91	35	1,335(386)	764(412)

さきがけ27名 (平均: 論文9.6報、特許出願2.7件、口頭発表30.4回/人) ( ): 招待講演の数

さきがけ	論文		特許		口頭発表	
	国内	国際	国内	海外	国内	国際
第1期	4	60	7	0	119(39)	89(46)
第2期	4	103	13	1	264(70)	125(38)
第3期	2	85	36	15	167(49)	58(29)
領域合計	10	245	56	16	550(158)	272(113)

## 中辻チーム

### 異常ネルンスト効果

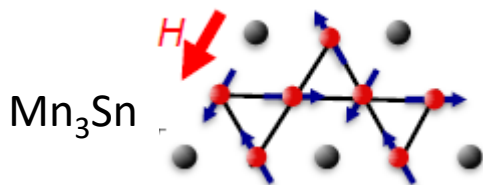


□ 温度差と垂直方向に発電

$$V = S_N \Delta T \frac{l}{t}$$

$S_N$ : ネルンスト係数

反強磁性体



[被引用409報]

Nature Physics **13**, 1085-1090 (2017).

[被引用329報]

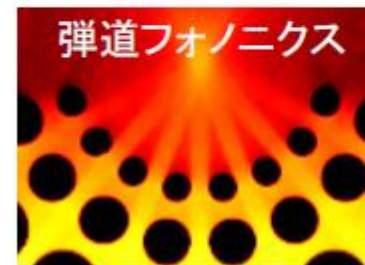
Nature Physics **14**, 1119-1124 (2018).

[被引用251報]

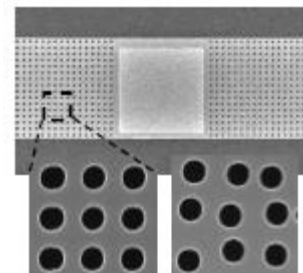
Nature Photonics **12**, 73-78 (2018).

- ◆ 指向性を持った熱流の実現
- ◆ 固体集熱の実証

### 弾道フォノンクス



フォノンエンジニアリング(熱伝導制御)



野村(さきがけ)

[被引用182報]

Science Advances **3**, e1700027 (2017).

[被引用170報]

Nature Communications **8**, 15505 (2017).

[被引用105報]

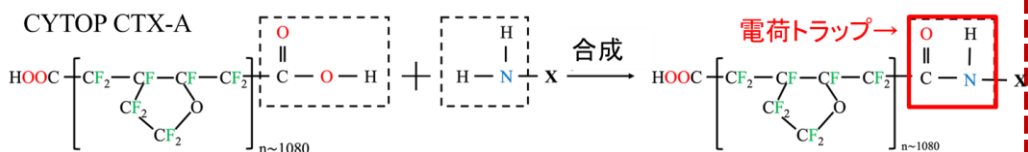
Phys. Rev. B **93**, 045411 (2016).

German Innovation Award,  
Gottfried Wager Prize  
(2018)

# 科学(学術)面での貢献(材料開発の新手法)

## 機械学習に基づく有機エレクトレット開発

鈴木チーム



PubChem

(Open Chemistry Database)

分子構造

アミノ基を持つ分子

5,500 アミン

258,000 amines

機械学習モデル  
(MEGNet)

固相イオン化ポテンシャル

教師信号

- CTX-Aとの仮想合成  
- PCM/DFTを用いた固相イオン化ポテンシャルの評価

1次候補分子

PCM/DFT

低IP候補分子

合成、表面電荷密度の評価

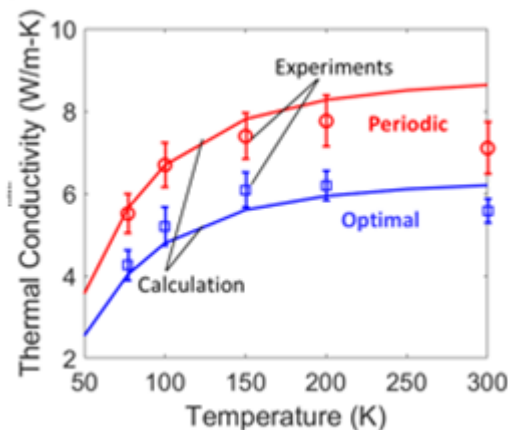
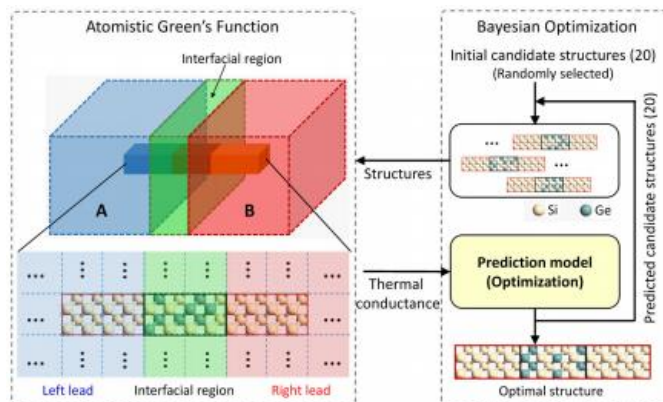
合成の容易性、安定性

## MIによる低熱伝導材料開発

塩見チーム

MI: Material Informatics

(機械学習 + 分子シミュレーション)



# 科学(学術)面での貢献(新材料の開発)

半導体材料

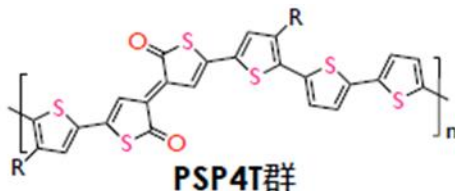
代表的な高分子系材料

代表的な低分子系材料

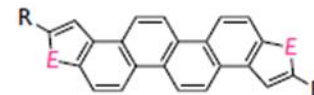
p型半導体

岡本チーム

PF  
[ $\mu\text{W}/(\text{m K}^2)$ ] **18.4**

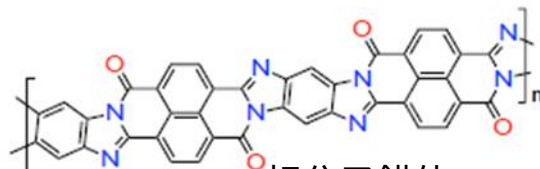


高結晶性：尾坂G  
> 1  $\text{cm}^2/\text{Vs}$



ChDT群 ( $E = \text{S}$ )  
単結晶：岡本G  
> 10  $\text{cm}^2/\text{Vs}$  (バンド伝導)

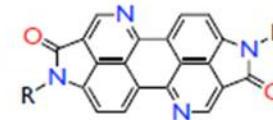
n型半導体



BBL 超分子錯体  
野々口G

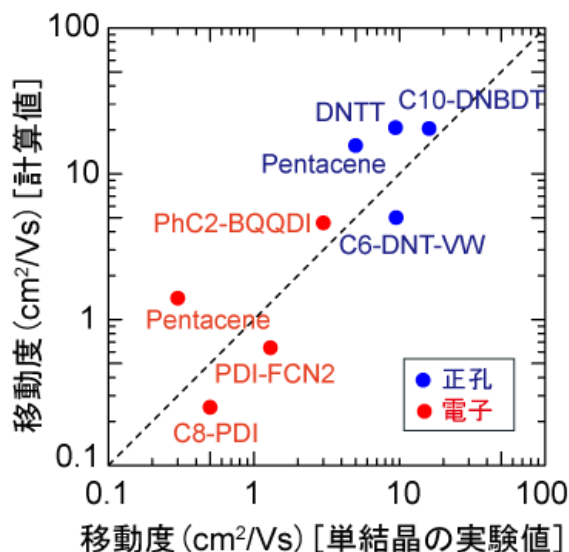


BQQDI群



BQQDA群

単結晶：岡本G  
> 4  $\text{cm}^2/\text{Vs}$  (バンド伝導)



Chemical Communications (2023)

分子の化学構造式  
→ キャリア移動度、Seebeck係数(熱電性能)  
(結晶構造 + Partially dressed polaron モデル)

Journal of the American Chemical Society (2022)

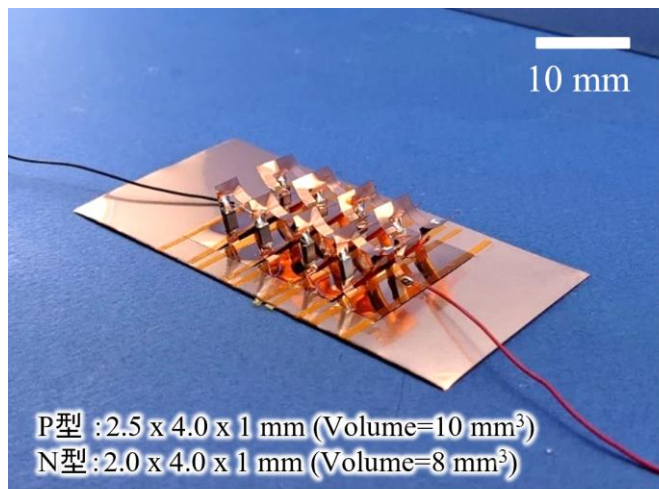
Bulletin of the Chemical Society of Japan (2022)



# 科学的・技術的な観点からの貢献(熱電発電)

## 折り紙型フレキシブル放熱機構

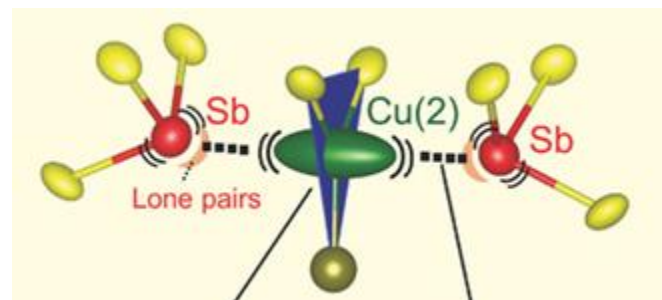
塩見チーム



温度計測データの無線送信を実証

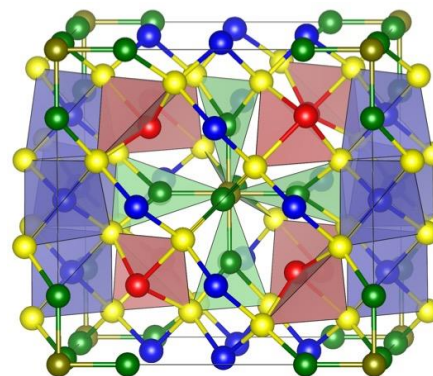
## 熱伝導の抑制機構の解明 (平面ラットリング)

李チーム



平面ラットリング  
(圧縮応力によって増加)

ラットリングと  
ローンペアの相互作用



$\text{Cu}_{10.5}\text{Ni}_{1.5}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$   
Tetrahedrites

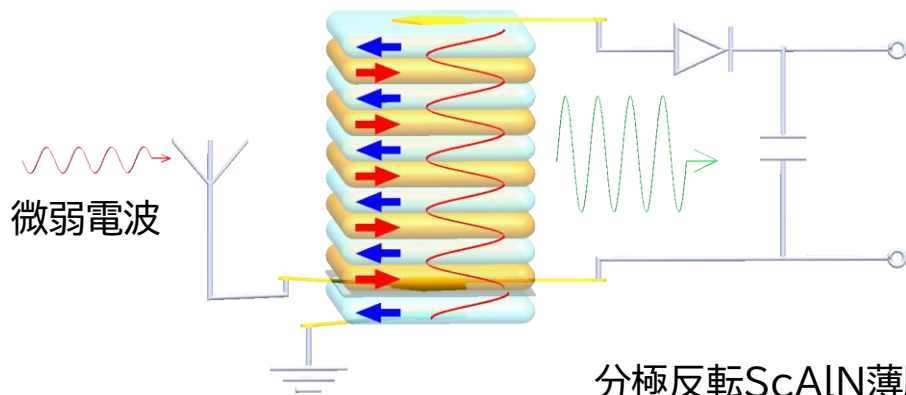


# 科学的・技術的な観点からの貢献(電波発電)

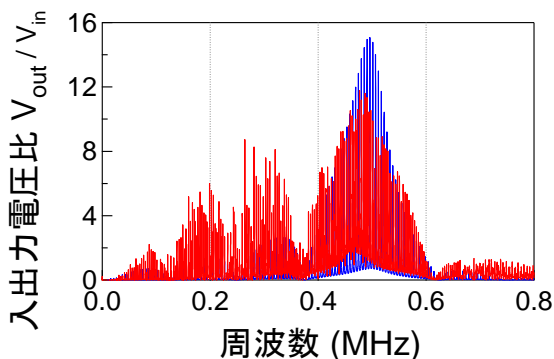
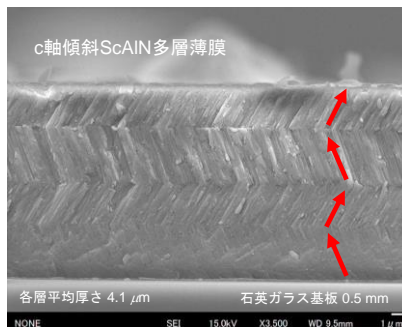
圧電トランスによる電波増幅  
(地デジ帯で12倍増幅を実証)

柳谷(さきがけ)

科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞(2018)



分極反転ScAlN薄膜

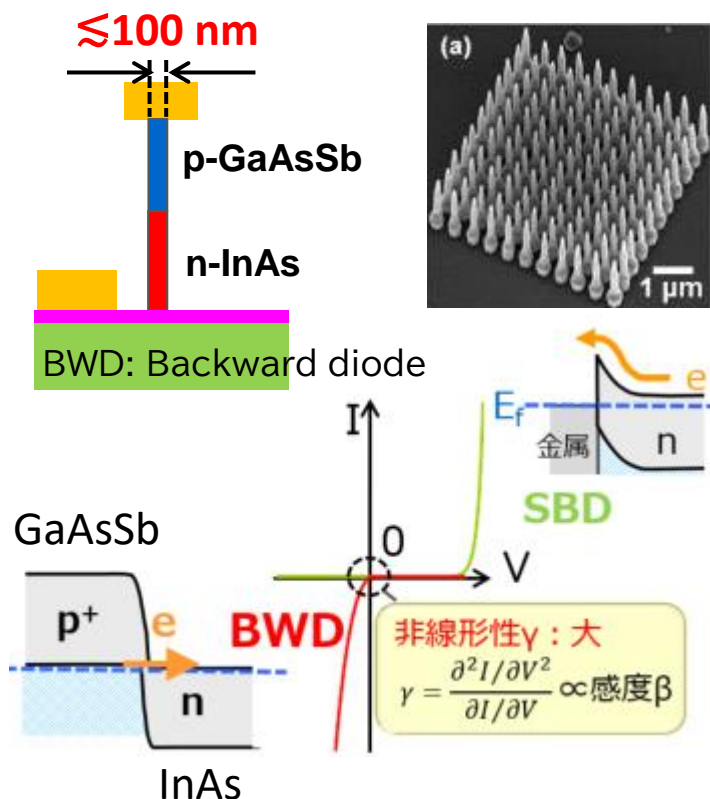


圧電薄膜技術の応用

- ・Back Scatter通信システムへの応用(SU-CREST)
- ・抗原抗体反応検出センサ(新型コロナ追加研究)

世界最高感度を実証  
2.4GHz (SBDの11倍)

河口チーム



日本経済新聞: 電子版(2020年2月14日)

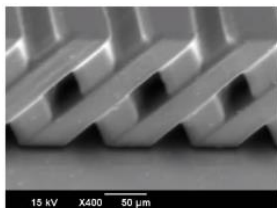
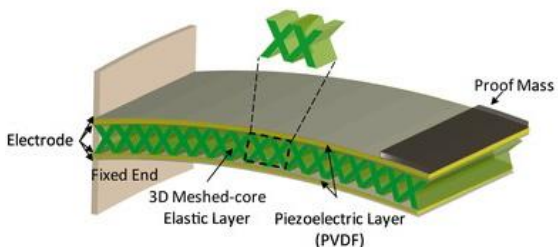
「微弱電波を電力に変換する高感度のダイオードを開発」

# 科学的・技術的な観点からの貢献(振動発電)

共振周波数を自在に調整できる  
3D中空構造カンチレバー

鈴木(さきがけ)

3次元ポリマー圧電デバイス構造の作製技術  
→ 材料の弾性定数の変化



J. Vis. Exp. (144), e59067  
→Open access: 閲覧回数20,000超

第21回横山科学技術賞(2017)

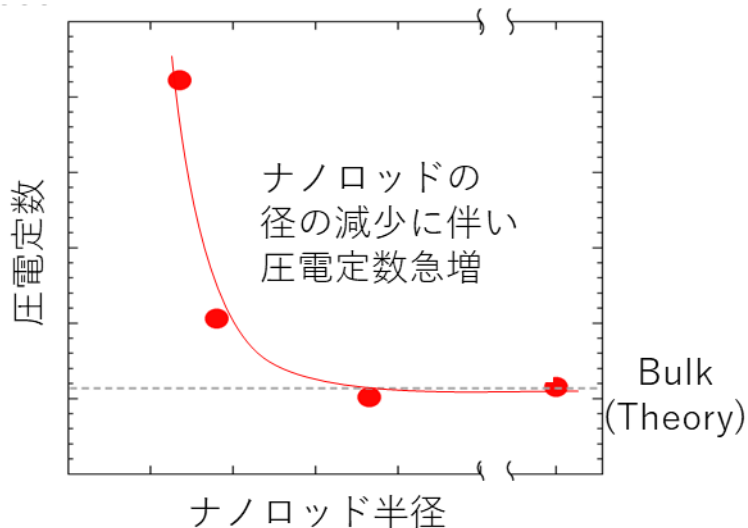
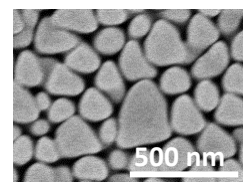
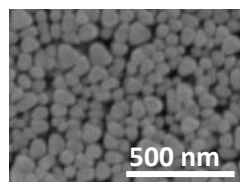
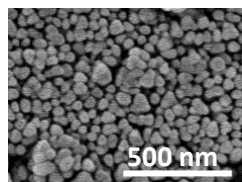
波及効果

・外枠振動発電(SU-CREST)→ 次ページ

強誘電体ナノロッド構造による  
圧電材料特性の向上を実証

山田(さきがけ)

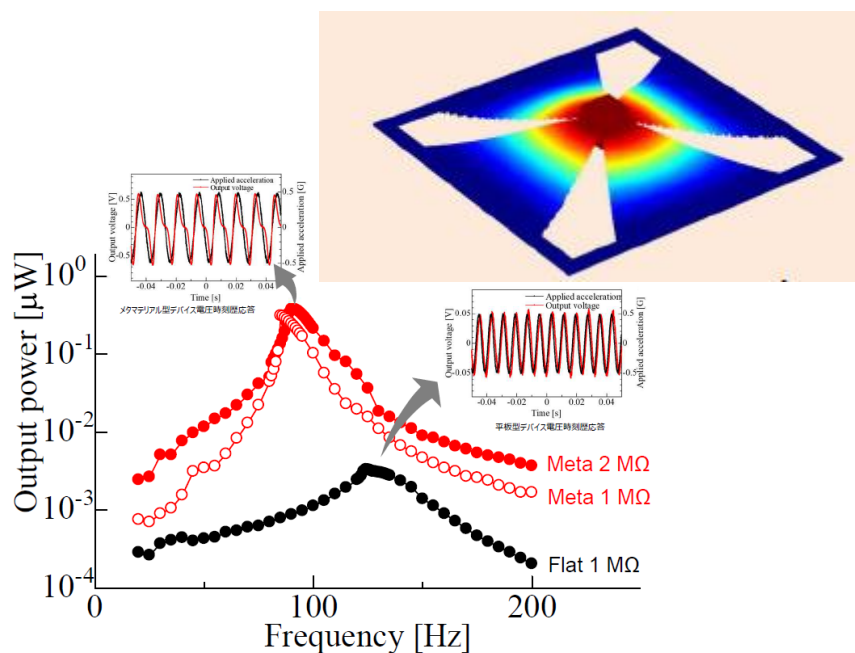
巨大圧電応答: ロッド表面の静電相互作用



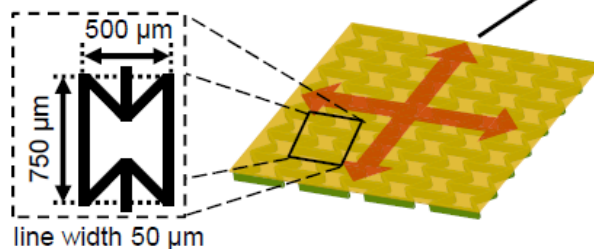
Richard M. Fulrath Award(米国セラミック協会) (2020)

# 科学的・技術的な観点からの貢献(振動発電)

## 年吉チーム

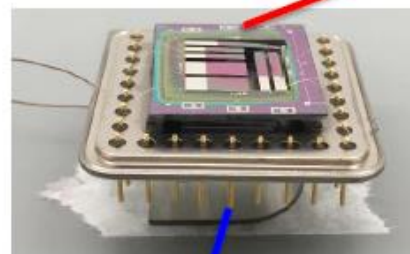


メタマテリアル構造の負のポアソン比  
二軸方向に変形 = ひずみ量大

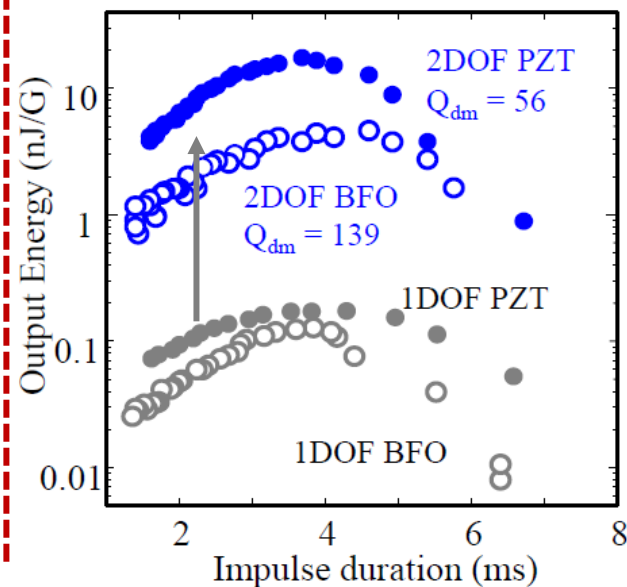


## 神野チーム

### MEMS-pVEH



PZT:  $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$   
BFO:  $\text{BiFeO}_3$



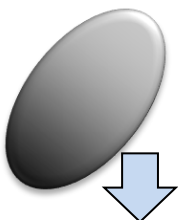
## ②社会的・経済的な観点からの貢献(低コスト)

### 安価な熱電材料(シリコン)・量産技術

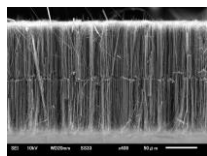
#### 材料の高性能化・製造技術

##### 塩見チーム

Si ウェハ  
 $<0.02\Omega\text{cm}$   
500 $\mu\text{m}$ 厚



全貫通多孔質  
Siナノワイヤー



焼結

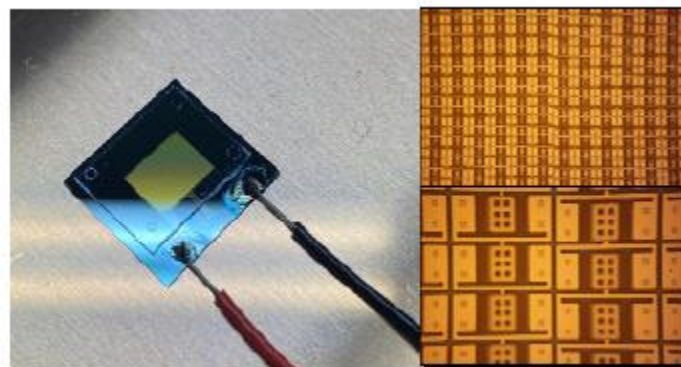


**ZT=0.3を実証** 多孔質多結晶  
バルクシリコン

日本学術振興会賞(2020)  
日本熱電学会学術賞(2021)

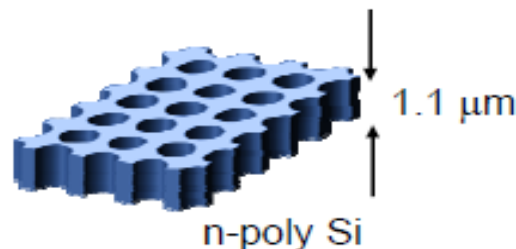
##### 野村チーム

#### 集積回路製造技術による量産化



#### Si平面型熱電デバイス

Poly-Si with original ZT  $\sim 0.02$   
by PnC structuring  $\rightarrow 0.1$



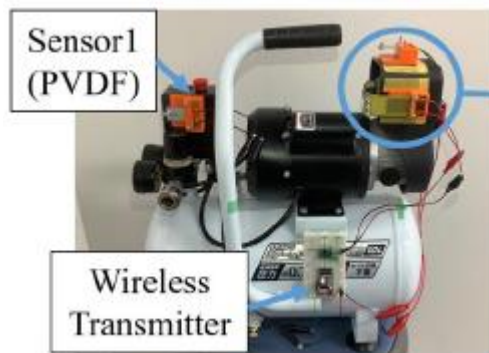
ZT = 0.02



## 非鉛圧電薄膜

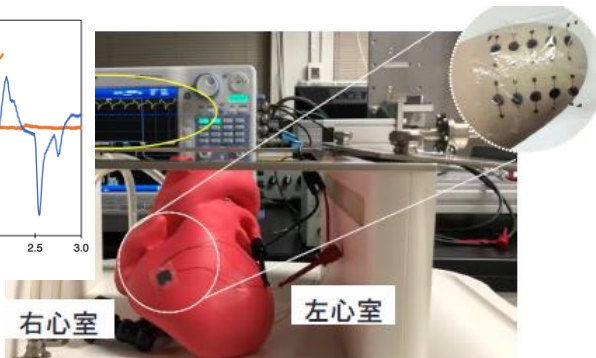
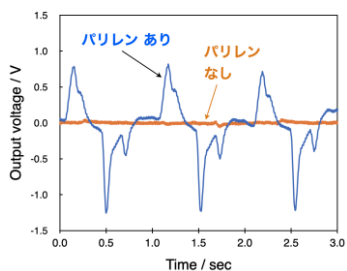
### 有機圧電膜

既定の電力が蓄積される度に発出する信号  
の頻度から故障を推定するシステム



VEH and sensor  
holder

小野チーム



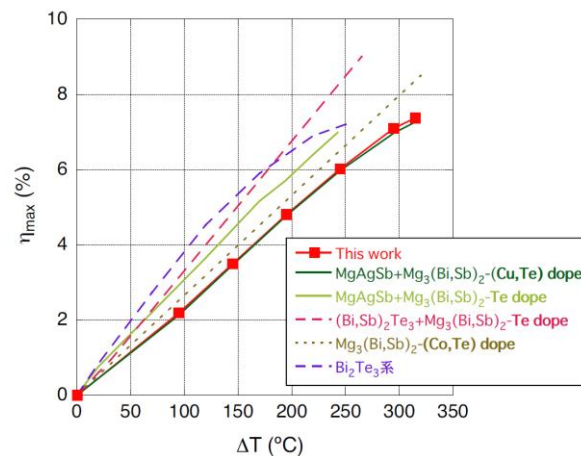
神野チーム

6  $\mu$ J/拍動

## 希土類(Te)フリー熱電材料



MgAgSb Mg<sub>3</sub>Sb<sub>2</sub>



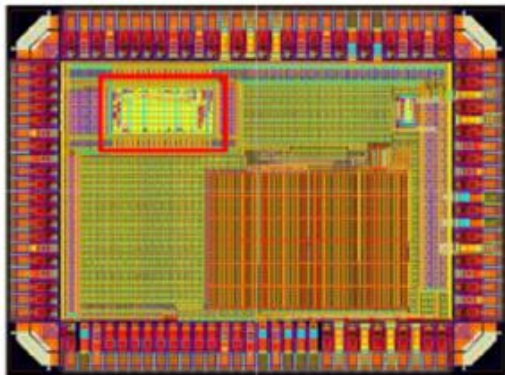
Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>の熱電性能に匹敵する材料の開発に成功

李チーム

## 超低消費デバイス・回路

8ビットCPU

65nm SOTB



Cell-count: 2,077; Gate-count: 55,293;  
Power: 1.049uW @ 0.75V (no bias) & 32KHz  
Power: 50.1nW @ VDD=0.5V, VBB=-1.6V

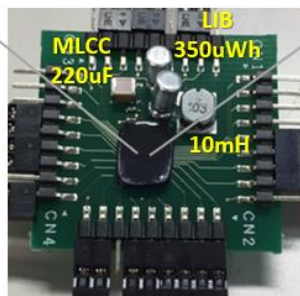
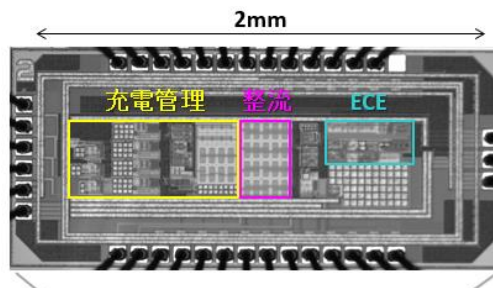
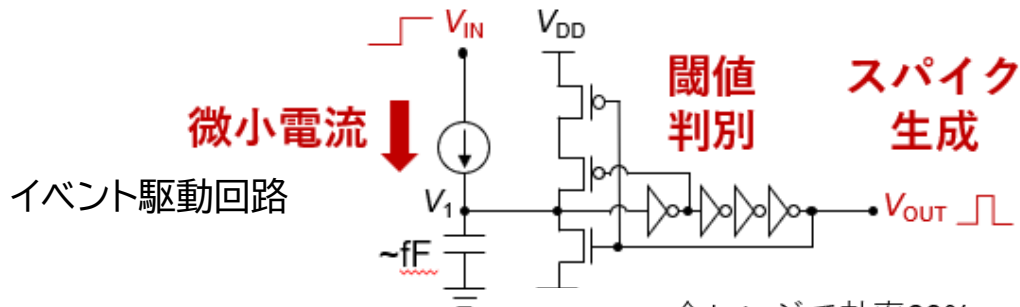
応用物理学会 Vol.91 No.3

Super Steep Subthreshold  
Slope SOI-MOSFET  
SS<1mV/dec

石橋チーム

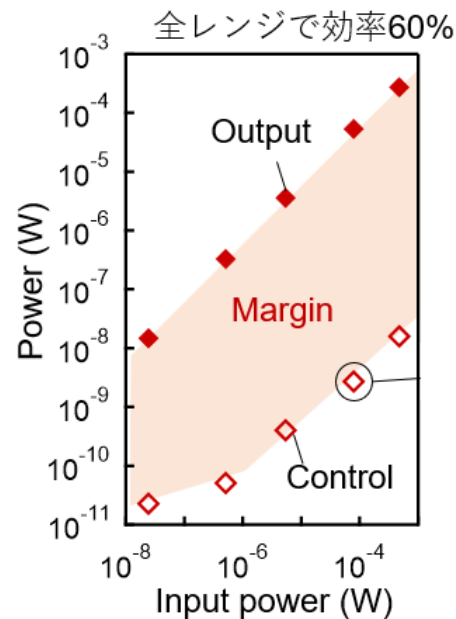
## 非同期型コンバータ

科学技術分野の文部科学大臣表彰若手科学者賞(2022)



28mm

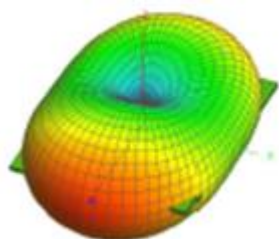
部外秘



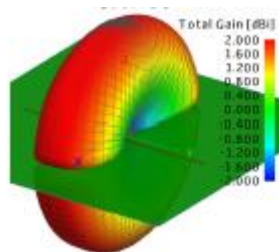
小野チーム

## 等方性Ω型アンテナ

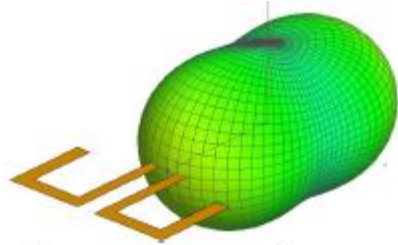
指向性



ループ



ダイポール

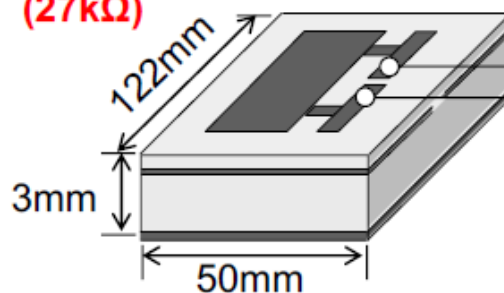


石橋チーム

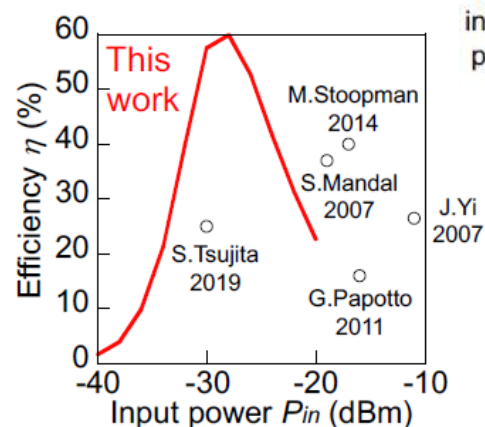
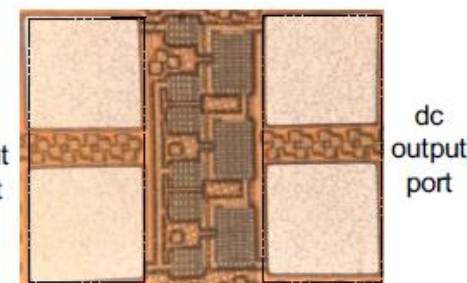
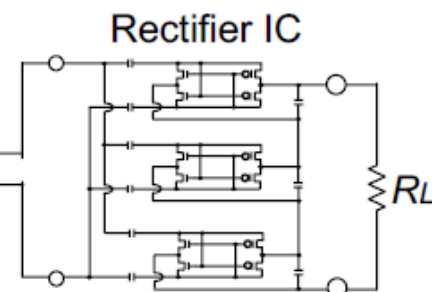


## 高インピーダンスメタマテリアルアンテナ

AMC基板上の誘導性折り返し  
しダイポールアンテナ  
(27kΩ)



920MHz帯



AMC:  
Artificial Magnetic conductor

石橋チーム

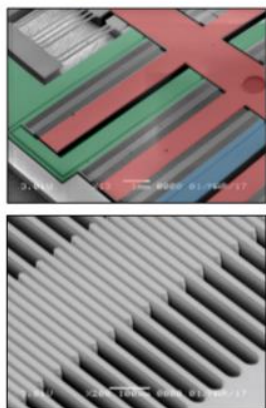
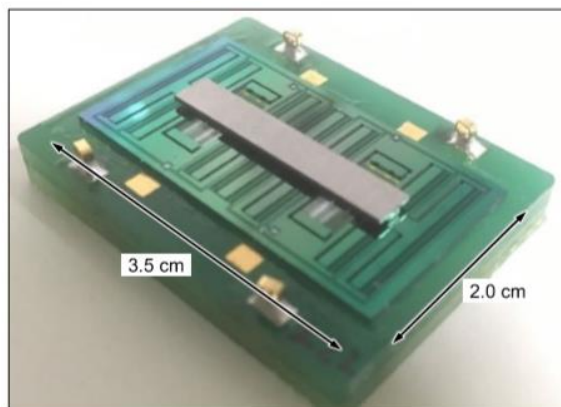
# 社会的・経済的な観点からの貢献(実証デバイス)

## 社会実装可能な発電デバイスを実証

### 年吉チーム

第33回独創性を拓く先端技術大賞  
・経済産業大臣賞

鷺宮製作所で製品開発中



### 上野チーム

磁歪発電デバイス

基本特許を7か国で権利化

V-Generator(ベンチャー)起業

サンプル出荷中

### 鈴木チーム

Social distancing維持のための  
電池レス・ウェアラブルアドバイザ  
(新型コロナ追加研究)



発電量 1mW@1Hz



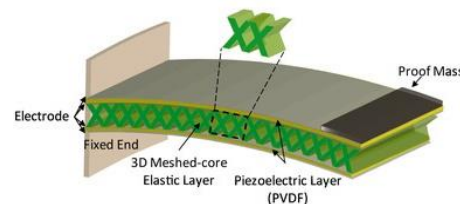
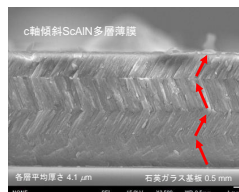
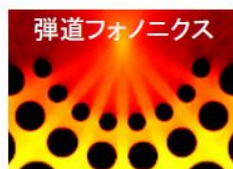
# 「戦略目標の達成状況」のまとめ

総計 論文 950報、特許(国内+海外) 198件、口頭発表 2,921回

## 科学的・技術的な観点

(方針)世界が認める独創性の高い研究を推進

弾道フォノニクス(野村)、圧電トランス(柳谷)、三次元リソグラフィ造形(鈴木)、...



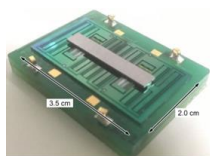
中辻チーム: 反強磁性体を用いた熱電発電

鈴木チーム: 機械学習に基づく有機エレクトレット開発

## 社会的・経済的な観点

(方針)将来の産業化を見据えた研究開発の推進

- ・安価で、環境にやさしい材料と量産可能な製法
- ・高性能デバイスの設計法を確立



上野チーム: 磁歪発電デバイス、ベンチャー(V-Generator)起業

年吉チーム: 振動発電デバイスの市場投入を予定(鷺宮製作所、2023年)

## Society 5.0 の通信ネットワーク

Next G Alliance Report (2022/2)  
Roadmap to 6G (第6世代の通信NW)

膨大な数のセンサ  
代替電池の重要性

持続可能社会  
・電力削減  
・環境への負担軽減

European Commission      Battery Regulation  
(2020)

時代を先取りして始まった「微小エネルギー」領域



研究成果: 質の高い環境発電の基盤技術

EH: 多種・多様な技術の集合体(一点突破では無力)

本格的なEHの社会実装に向けて

EH大国  
中国、米国、欧州

学理の究明  
新材料発見

大学・研究機関  
・材料の研究開発  
・設計法の研究



民間企業  
・低コスト化  
・高信頼性

SIer  
・使いこなし技術の開発

先行上市を目指  
した製品開発

国際協調 + 国プロ