

# 強誘電体ルネッサンス： ペロブスカイトを凌駕する「第四世代材 料」で実現するカーボンニュートラル

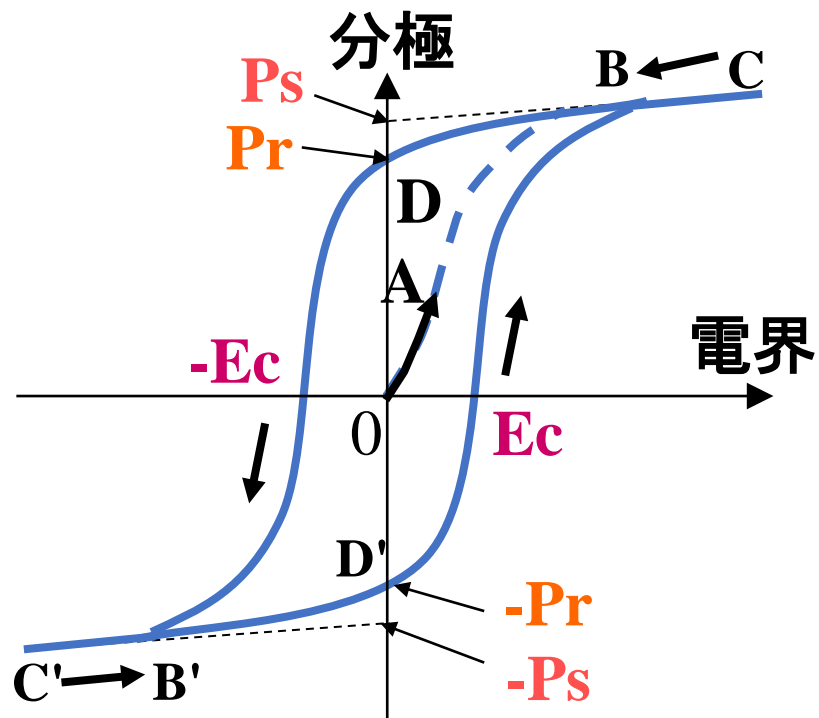
---

(Ferroelectric Renaissance:  
Carbon Neutrality Achieved by "Fourth Generation  
Materials" Surpassing Perovskite Ferroelectrics)

東京工業大学  
物質理工学院  
舟窪 浩

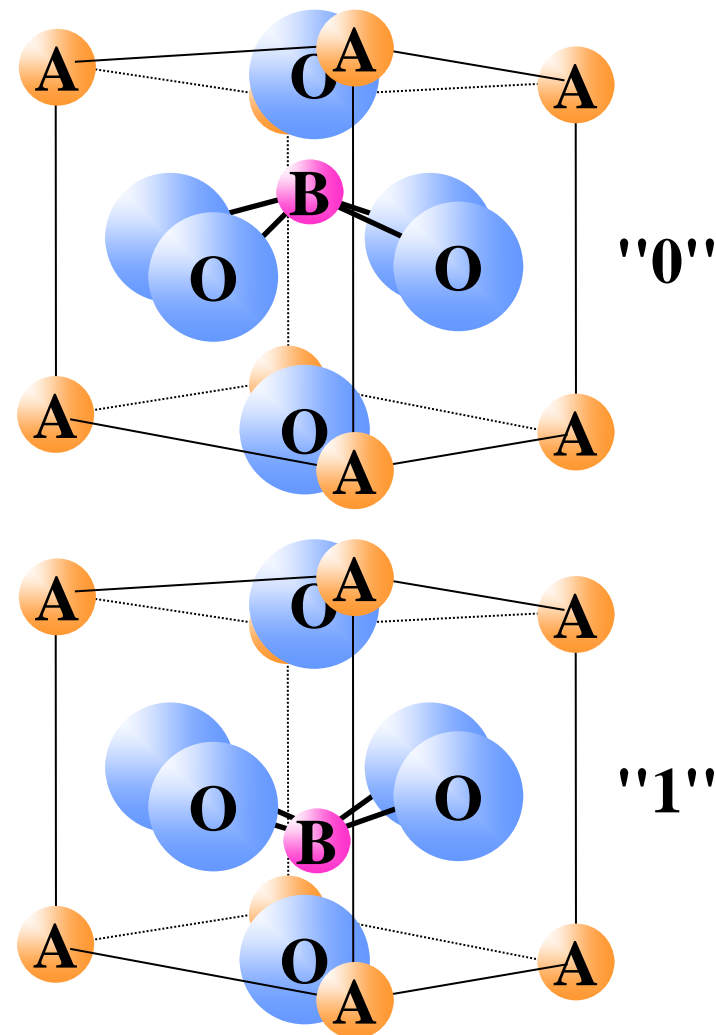
# 強誘電性

## 分極 - 電界の関係



- ・電界印加なしで2つの安定な状態
- ・メモリへの応用可能

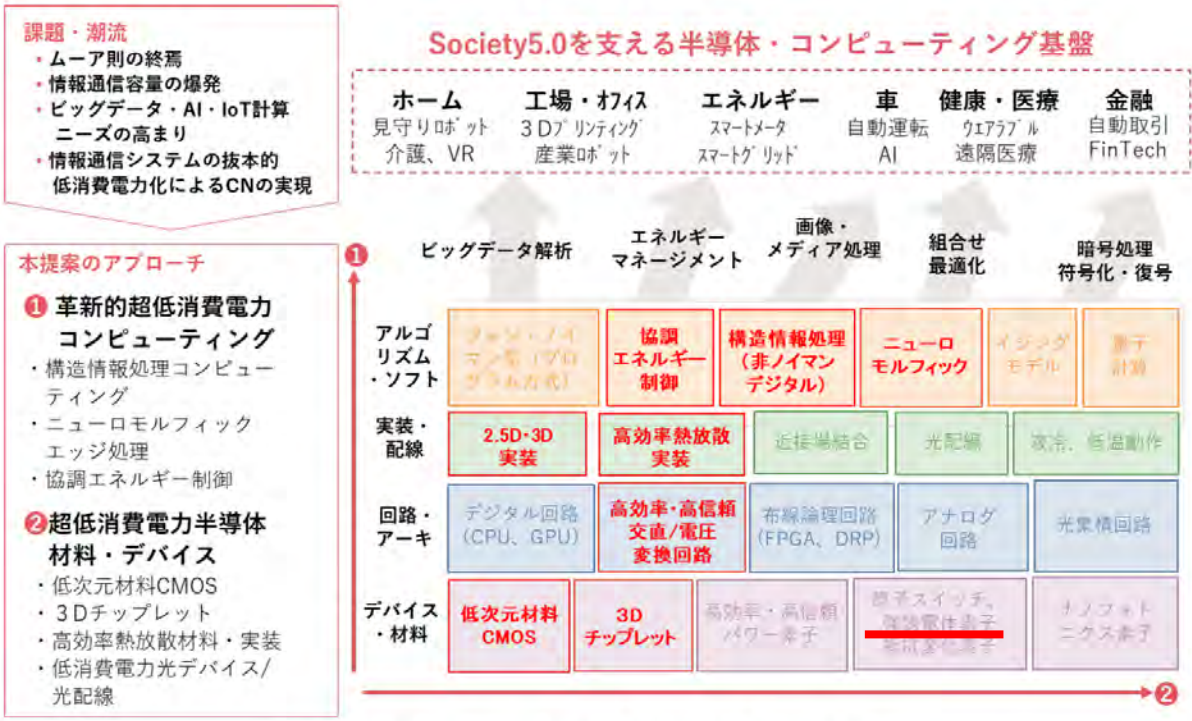
## ペロブスカイト構造物質



# JST ALCA NEXTの公募書類より 6.5 「半導体」領域

## b. 1通信ビット当たりの消費電力を抜本的に低減する革新的伝送ハードウェア技術

高度のデジタル社会 (Society5.0) の進展に伴って、従来の予想を超える膨大なデータが取り扱われるようになり、世界の情報量は 2030 年には 2018 年の 30 倍以上、2050 年には 4,000 倍に達し、現状のまま進展すると、情報関連だけで 2030 年には年間 42PWh、2050 年に 5,000PWh と、現在の全世界の消費電力の約 24PWh を大きく上回ると予測されています。 増大し続ける通信需要をまかない、かつ低炭素社会を実現して



**本提案のアプローチ**

**① 革新的超低消費電力  
コンピューティング**

- ・構造情報処理コンピューティング
- ・ニューロモルフィックエッジ処理
- ・協調エネルギー制御

**② 超低消費電力半導体  
材料・デバイス**

- ・低次元材料CMOS
- ・3Dチップレット
- ・高効率熱放散材料・実装
- ・低消費電力光デバイス/光配線

図5 「半導体」領域の対象とする技術イメージ  
(JST/CRDS 戦略プロポーザル (CRDS-FY2017-SP-02)をベースに改変)

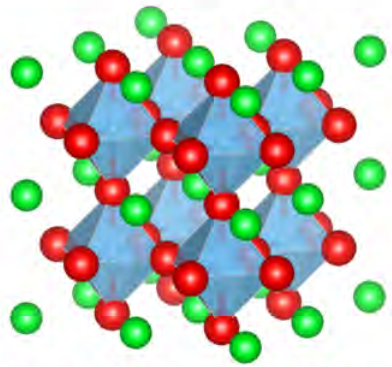
# 第四世代強誘電体

第1~3世代

第四世代

Conventional

(a) Perovskite  
( $ABO_3$ )



2 cation position

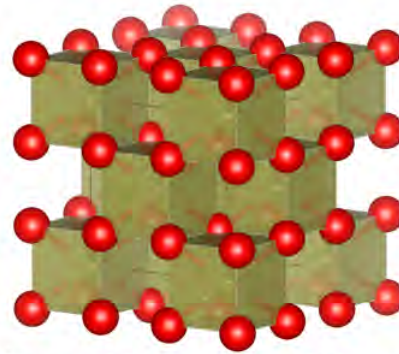
+  
 $O^{2-}$

$Pb(Zr, Ti)O_3$   
 $(Ba, Sr)TiO_3$   
 $[SrBi_2Ta_2O_9]$



After 2011

(b) Fluorite  
( $AO_2$ )

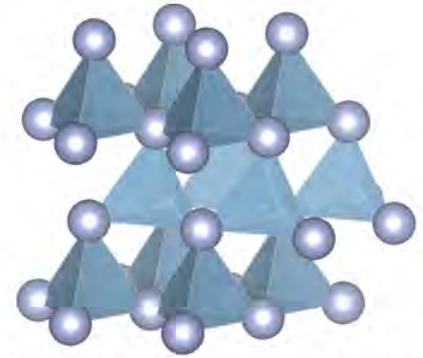


1 cation position

+  
 $O^{2-}$

$HfO_2$   
 $ZrO_2$   
 $CeO_2$

(c) Wurtzite  
( $AN, AO$ )



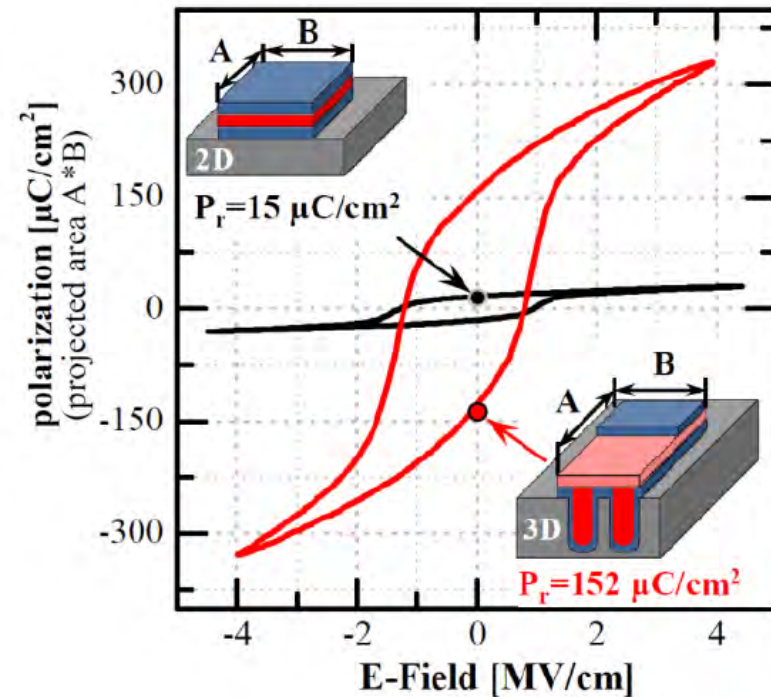
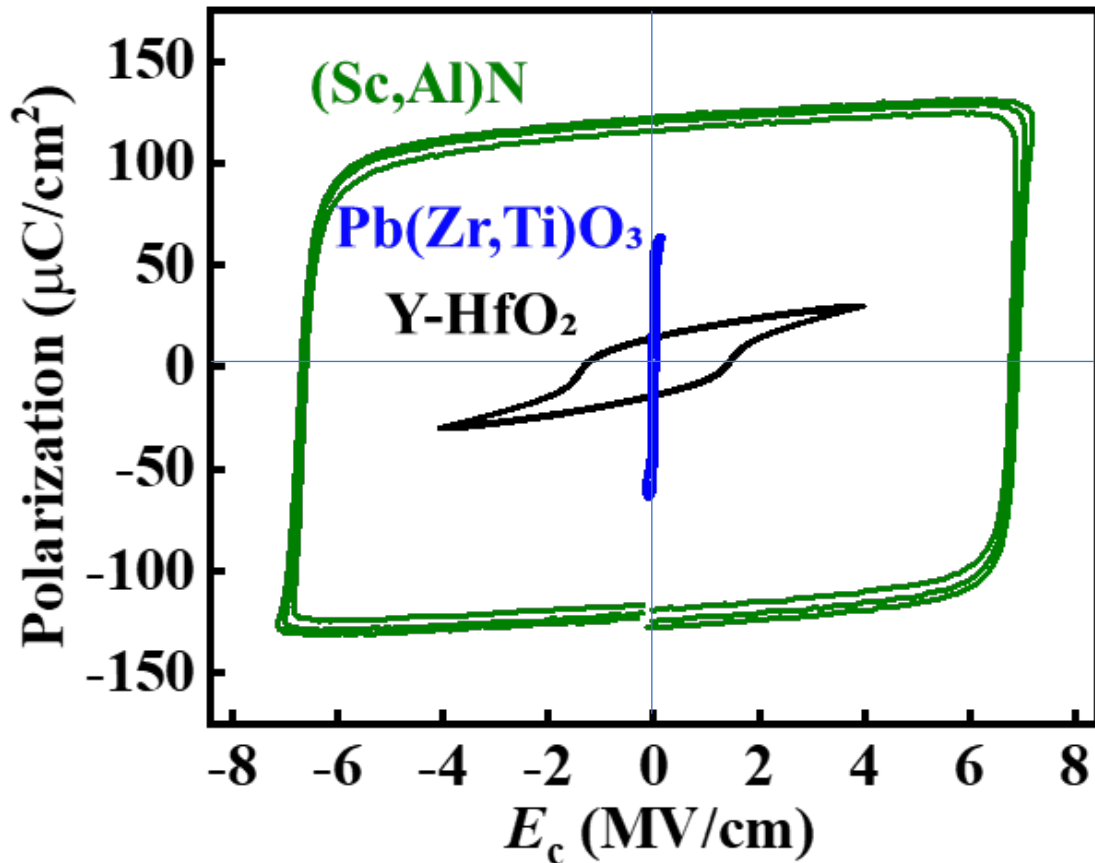
1 cation position

+  
 $N^{3-}$  or  $O^{2-}$

$AlN, (Al, Sc)N$   
 $(Al, B)N, (Ga, Sc)N$   
 $(Zn, Mg)O$



# 強誘電特性比較



J. Müller, T. S. Böске, Y. Yurchuk, P. Polakowski, J. Paul, D. Martin, T. Schenk, K. Khullar, A. Kersch, W. Weinreich, S. Riedel, K. Seidel, A. Kumar, T. M. Arruda, S. V. Kalinin, T. Schlosser, R. Boschke, R. van Bentum, U. Schröder, T. Mikolajick, in *IEEE International Electron Devices Meeting 2013*, 10.8.1.

# 第四世代強誘電体とは

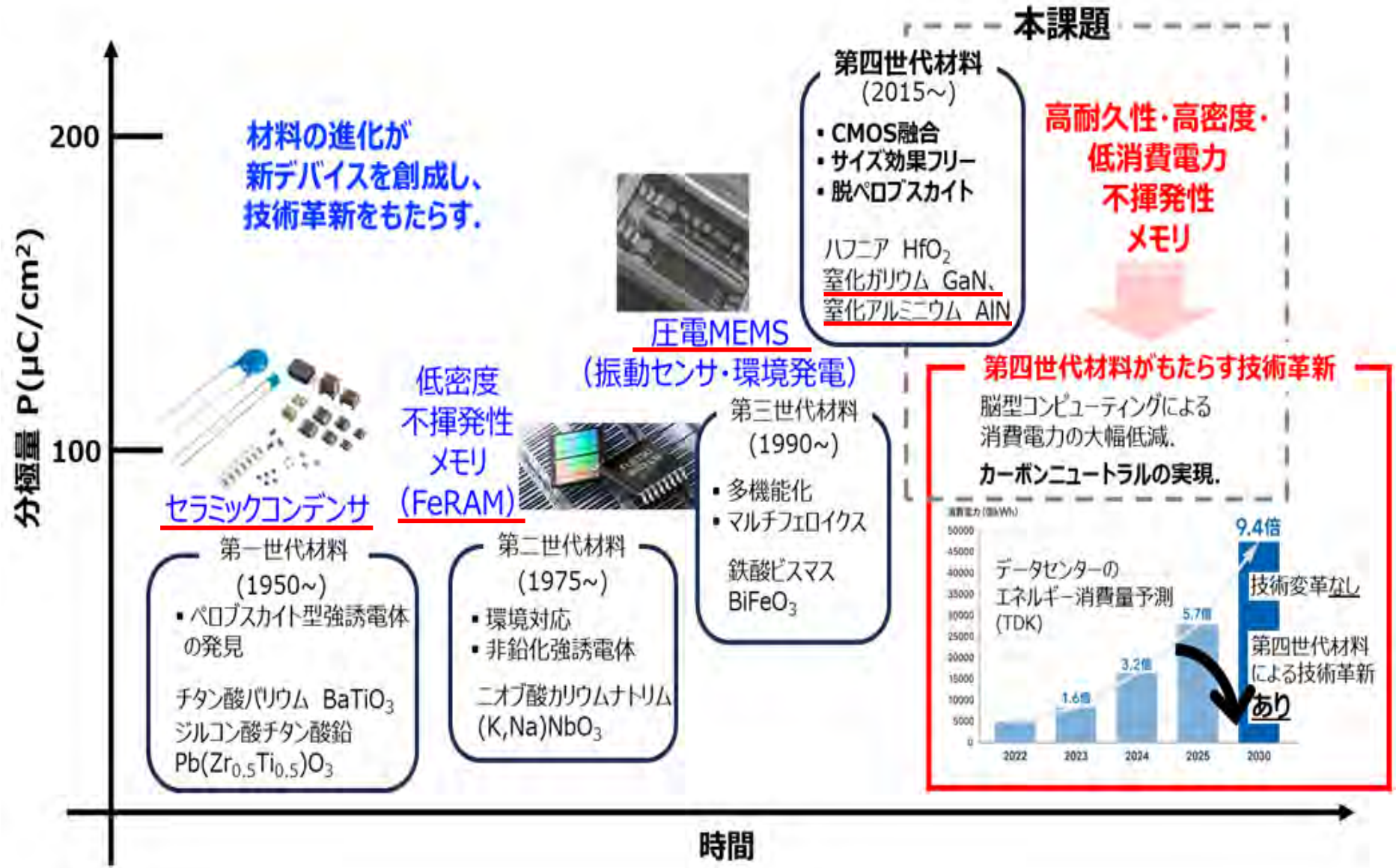
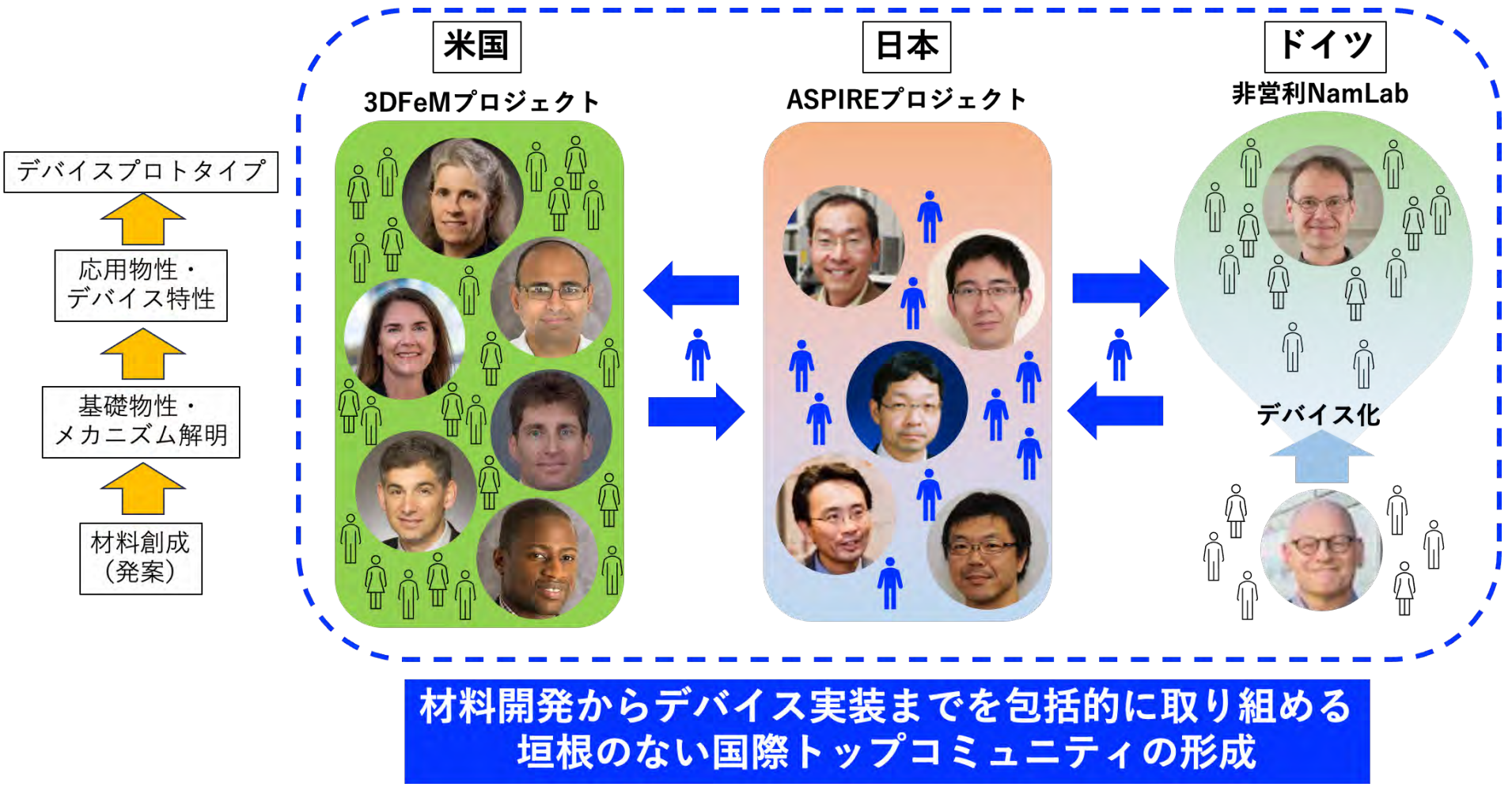


図 強誘電体材料とデバイスの変遷

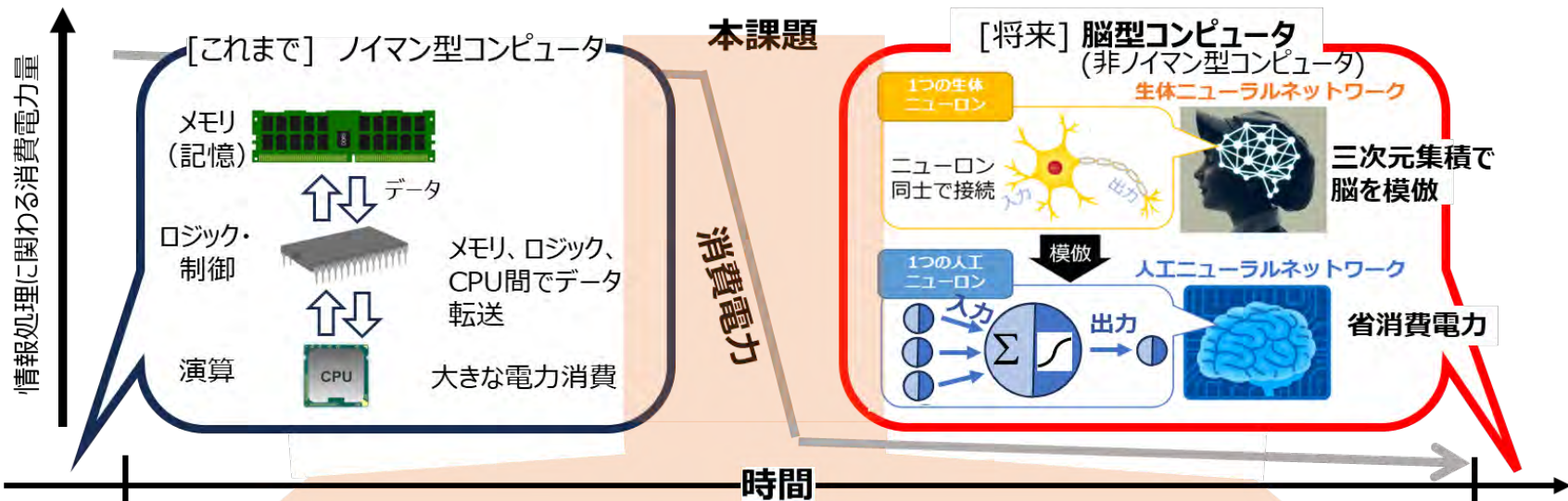
# 国際トップコミュニティの形成



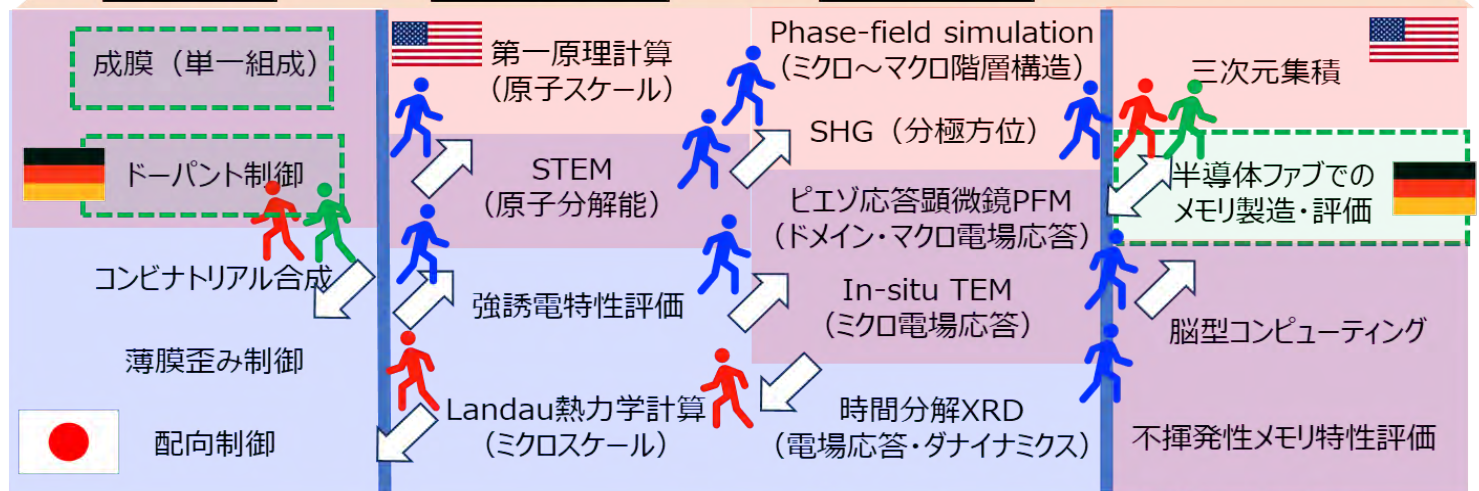
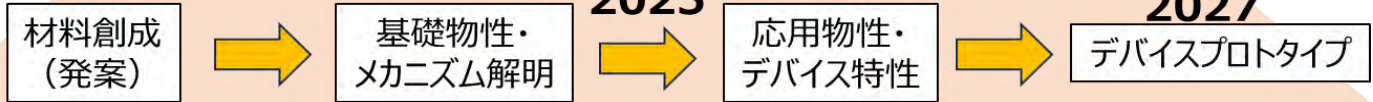
本プロジェクトにおける国際トップコミュニティの形成



# 国際連携の研究計画



2023 2025 2027 2030



青：日本 赤：米国 緑枠：ドイツ



## [米国代表]

- 学生時代に日本企業でのインターンシップ経験を有し、日本語はある程度はわかる。
- 日本と米国の2国間セミナー（2年おき開催で20回開催）に長年携わっており、日本人研究者とは深い関係性を有している。
- **日本チームの研究者とも多くの共著論文(計21報)がある。**  
日本側研究代表者とも共著論文(計4報)  
[共同研究者が2年間博士研究員を経験]  
[日本側リーダーがJSPSのプログラムで学生の短期受け入れ経験]
- 11月に来日し、セミナー開催

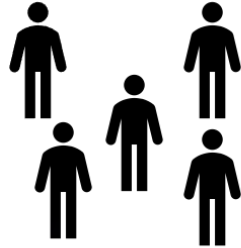
## [ドイツ代表]

- **日本側研究代表者とも共著論文(計3報)があり、1報はTop10%国際共著論文[375回, 1%]**
- **世界で最初のHfO<sub>2</sub>基強誘電体の本を共同編纂しており[25,000 online download]、第2版編集中。**
- **HfO<sub>2</sub>基強誘電体のロードマップの論文を出版、日本側リーダーが共著者**  
*APL Mater.* 11, 089201 (2023)
- 7月にNam Labの社長(Prof. Thomas Mikolajick)とは相談済み  
12月に来日予定、打ち合わせ予定で十分な準備ができている。

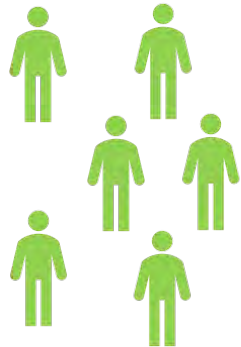
米国・ドイツ

日本

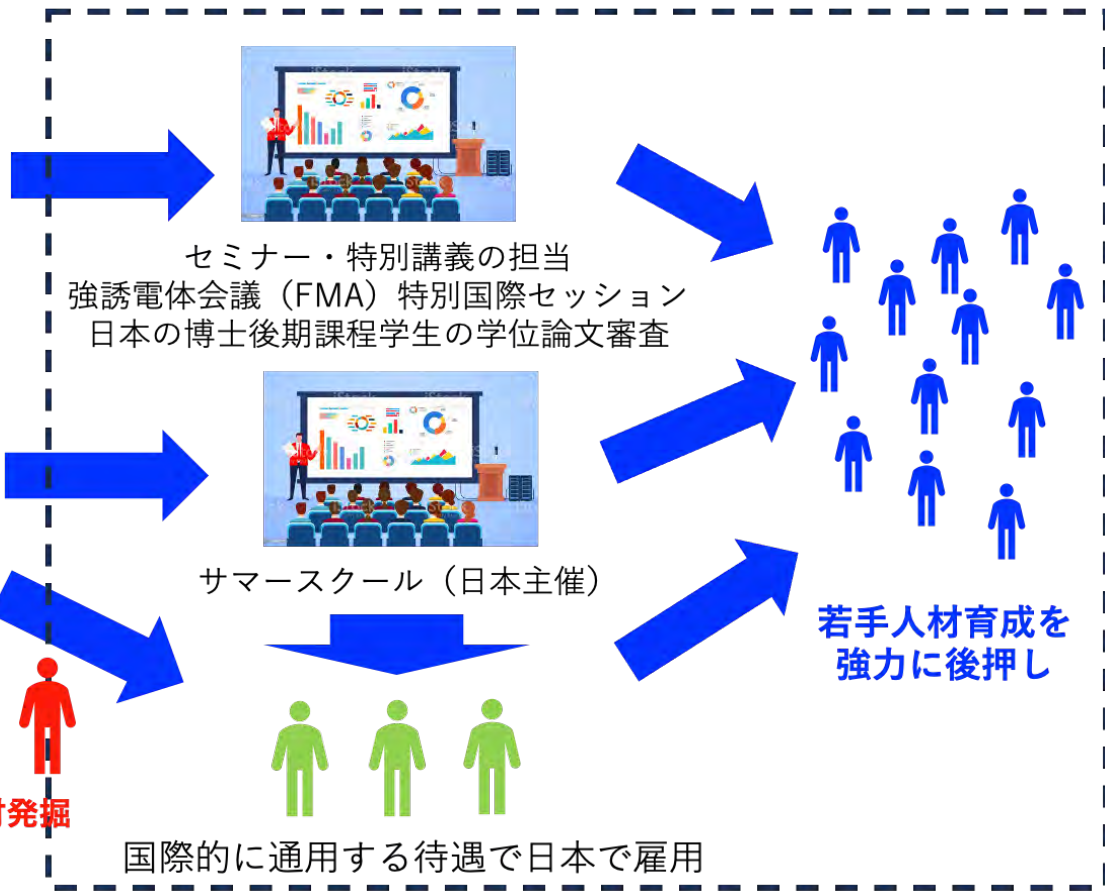
第一線で活躍する  
教授層・グループリーダー層



優れた博士研究員  
・博士後期課程学生

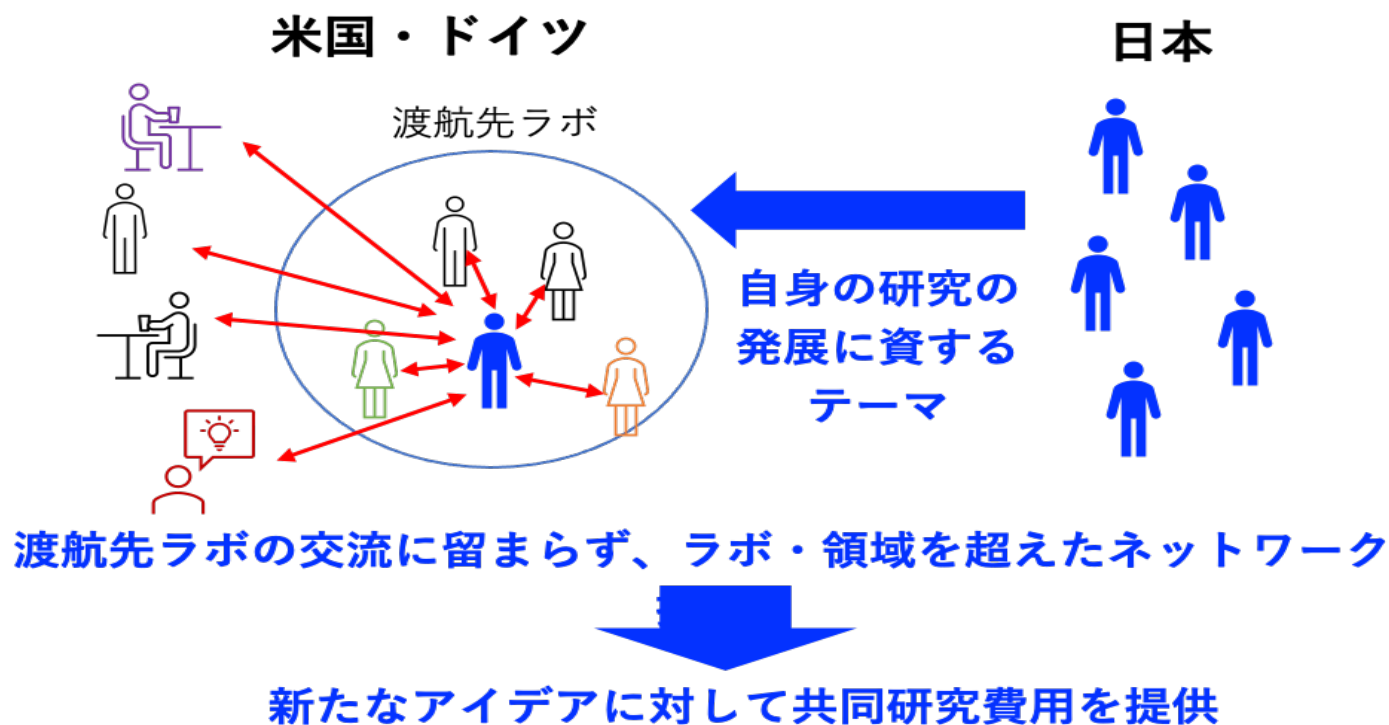


ASPIREで雇用する  
国際コーディネータが人材発掘



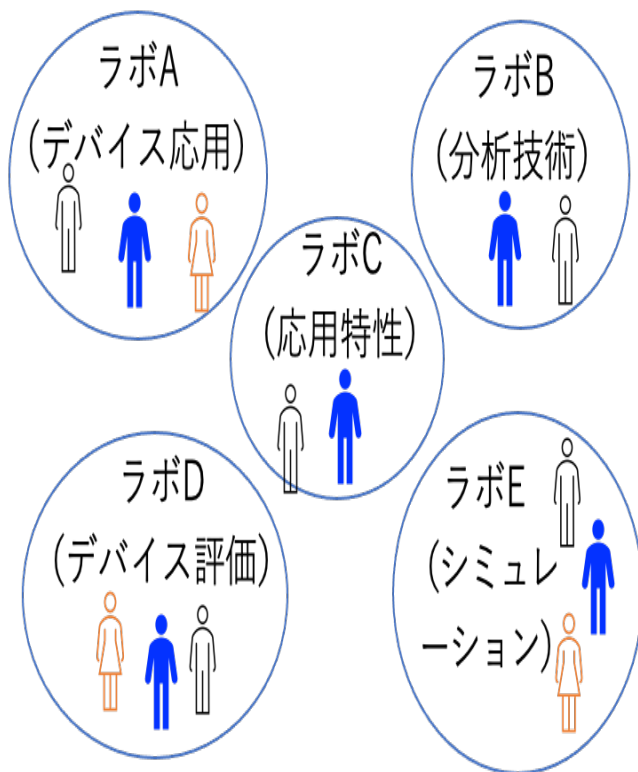
# 海外トップ研究機関への人材投入(ネットワークの拡大)<sup>12</sup>

- 博士後期課程学生および若手研究者: 米国およびドイツの研究室に1年間滞在
- 博士課程を希望する学生: 修士課程から2か月程度を共同研究派遣
- 海外滞在中に滞在ラボや領域を超えたネットワークの拡大による新しい研究アイデアの創出:  
プロジェクト内ファンドとして共同研究費用を提供  
国際ネットワークの裾野を広げ、にアイデアの具現化を図る。
- 新規予算獲得 (JST SICORP等) についても支援する。





米国・ドイツ



日本分室

(@米国ペンシルバニア州立大)

日本

ASPIREで雇用する  
国際コーディネータ (米国常駐)



英語事前研修



先方とのマッチング



ベンチフィー等手続き



渡航中のフォローアップ



新規共同研究アイデアのサポート



サマースクール、若手人材発掘 等



# 国際コーディネータ

米国大学に開設する日本分室に常駐して業務に当たる  
ドイツにも定期的にコーディネータが訪問予定

国際コーディネータの主な役割:

- 英語での研究環境に慣れるための事前研修  
(英語講座の情報展開、受講アドバイス)
- 先方の研究室とのマッチング作業  
(自身の研究の発展に資するテーマを実施している相手先を  
検討するとともに、先方との調整作業を行う。)
- 先方でのベンチフィー等の支払い手続きや契約
- 渡航中のフォローアップ  
(定期的な面談および必要な諸手続きのサポート)
- 新規共同研究アイデアに対するマネジメント・サポート

**博士後期課程学生については、学位取得後の現地採用（博士研究員等）につながる実力の形成と先方での信頼を勝ち得ることを目標とする。**  
**更なる国際経験を積むことができ、将来の帰国後に次世代のトップ研究者として大きな活躍を期待**

## ● 運営会議の開催

日本、米国、ドイツ間での運営会議を定期的に行き、学生の派遣予定や、滞在者のケア、問題点などを共有し、改善を図る。

国際コーディネータが会議の取りまとめを行う。

## ● 学生、日本側教員、受入教員の3者ミーティングの実施

学生本人、学生の指導教員である日本側教員、先方の受入教員の3者で、定期的な打ち合わせを行う（月2回程度、オンライン）。これにより、派遣学生の進捗を先方の受入教員と共有し、適切な助言や（必要に応じて）軌道修正を行うことが可能になる。

国際コーディネータはスケジュール調整やフォローアップを担当する。

## ● 定期的なwebワークショップの開催

渡航後に環境にスムーズに慣れて研究に打ち込めるようにするために、webワークショップを定期的に開催する。

国際コーディネータの監督のもと、先方に滞在中の派遣学生が主体的に開催する。

ワークショップでは、これから派遣される学生の研究紹介や、帰国した学生の成果報告を行うほか、米国側やドイツ側のPh.D学生にも発表してもらうことで、互いをよく知ることができ、若手国際ネットワークの形成も支援する。

## ● 渡航者が「蚊帳の中」に入るための仕組み作りとしての、オンラインミーティングの開催

渡航先で活躍するためには、socializationできるか、すなわち「蚊帳の中」に入れるかが鍵となる。上記のwebワークショップに加えて、渡航者と国内メンバーとのオンラインミーティングを定期的に開催し、渡航者の経験を披露することで、渡航者自身が現地で「蚊帳の中」にさらに入り込もうとする動機づけを与える。また、他の日本人若手学生・研究者への刺激にもなる。



# 申請にあたって

## 申請にあたって相談した事項

申請者自身もチャレンジな内容を行う。

“自分もぜひやってみたいと思う内容を”

“今までの共同研究ではできないことを！”

十分な予算と時間をいただける機会

“できたらいいな”を実現しよう

“若手研究者や学生がモチベーションが上げる内容を”

## 大学の部門のサポート

産学連携本部との議論

海外若手研究者や学生の滞在に対する準備