

ナノスケール・サーマルマネジメント 基盤技術の創出（略称：熱制御）

領域中間評価

研究総括：丸山 茂夫
令和 4年 2月22日

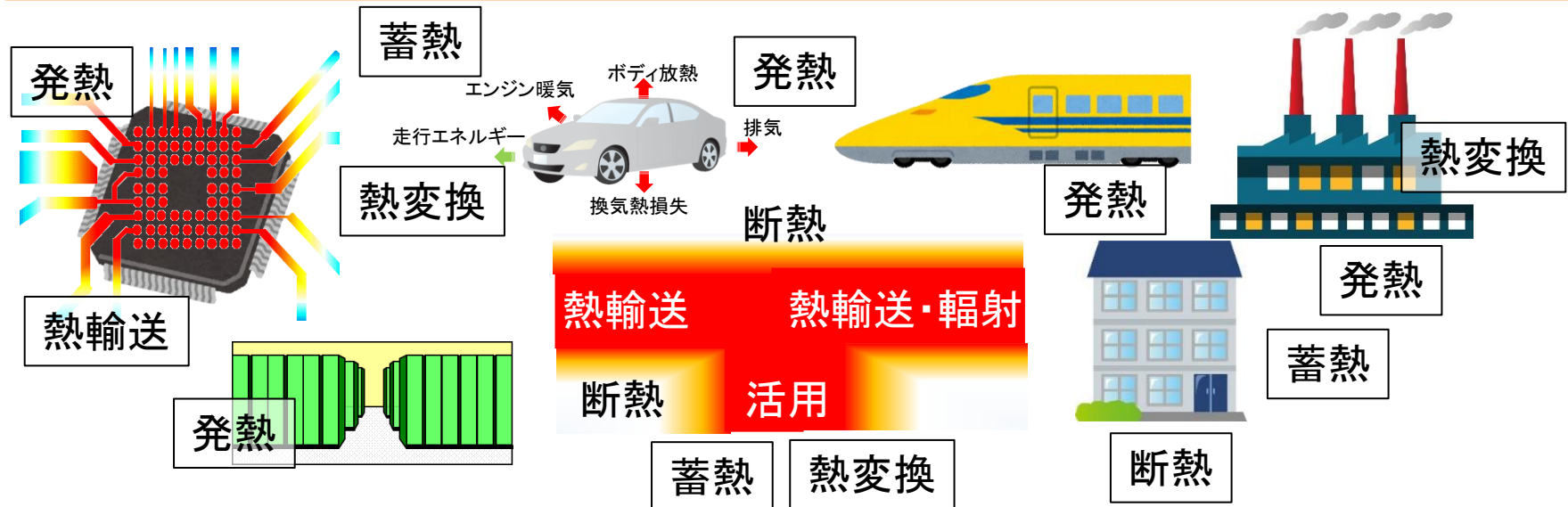
内容

1. 領域の目指す社会
2. 本領域のイメージ
3. 領域アドバイザー、領域運営アドバイザー
4. 選考の基本方針
5. 領域運営
6. 成果発表件数
7. 研究例
8. プレス発表例
9. 今後の展望について

1. 領域の目指す社会

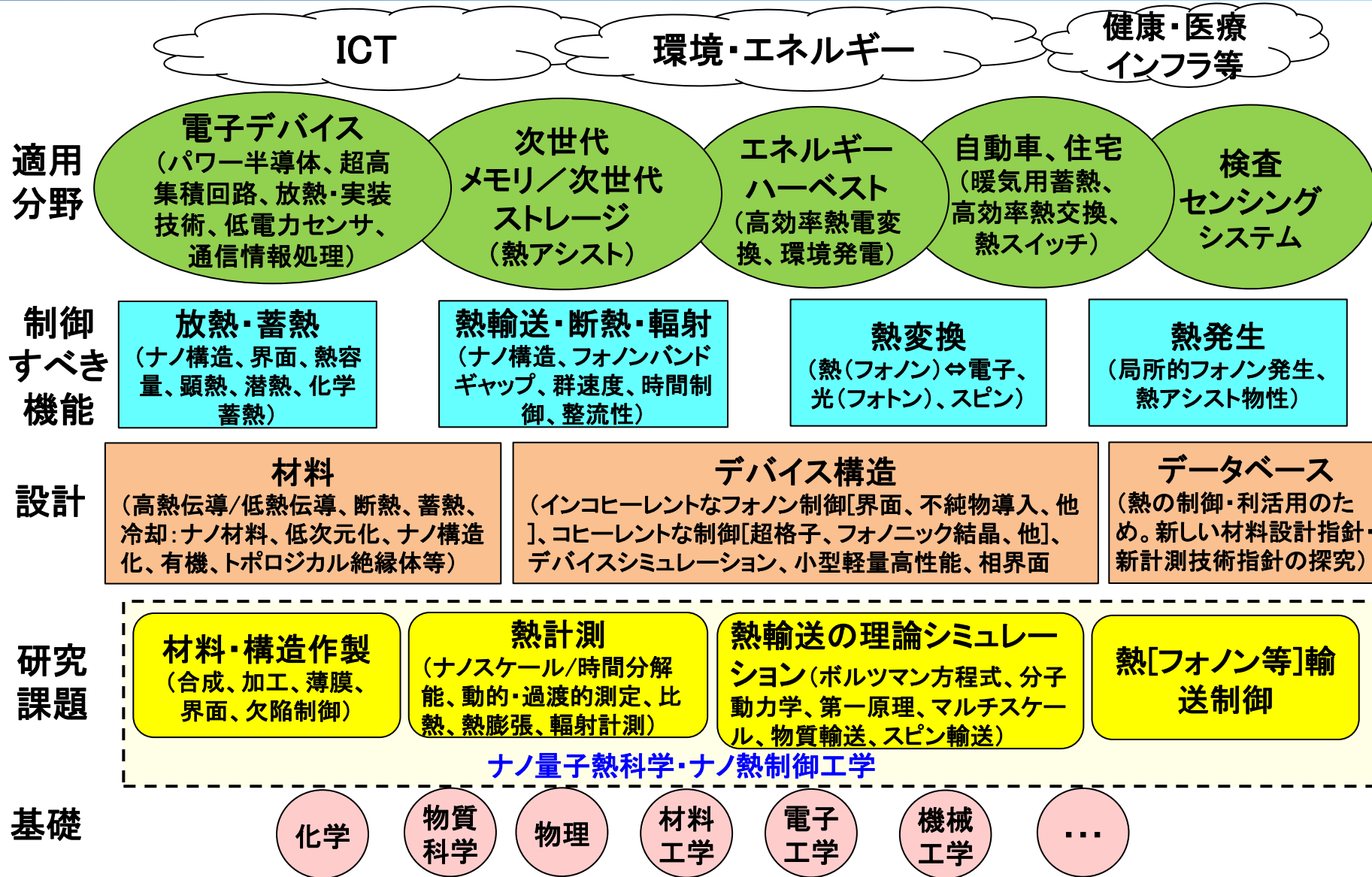
高度熱利用社会の実現

【目指す社会】 電子・光デバイス等の電子機器や、住宅や自動車等の構造物等の幅広い対象において、熱制御に関する制約を克服し、これまでになかった機能性やデザインの追求が可能になる社会。工場や自動車などにおいて、熱を時空間的に自在に制御し、無駄にしている熱エネルギーを有効に活用できる社会（戦略目標より）



【背景】 電子機器における発熱問題は、IoTの進展を阻害する恐れがある。また工場、自動車、住宅等において、未利用のまま排出される熱エネルギーの有効活用は省エネルギー社会の実現には不可欠。（戦略目標より）

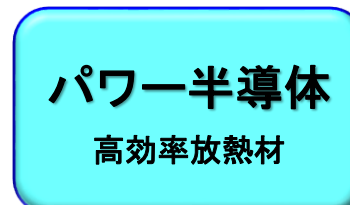
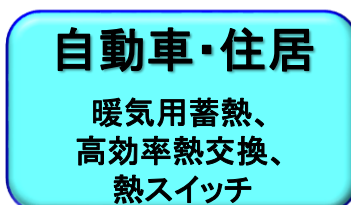
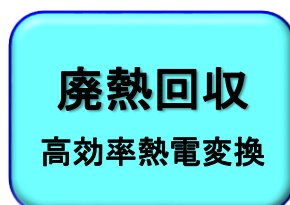
ナノスケール熱制御の全体像



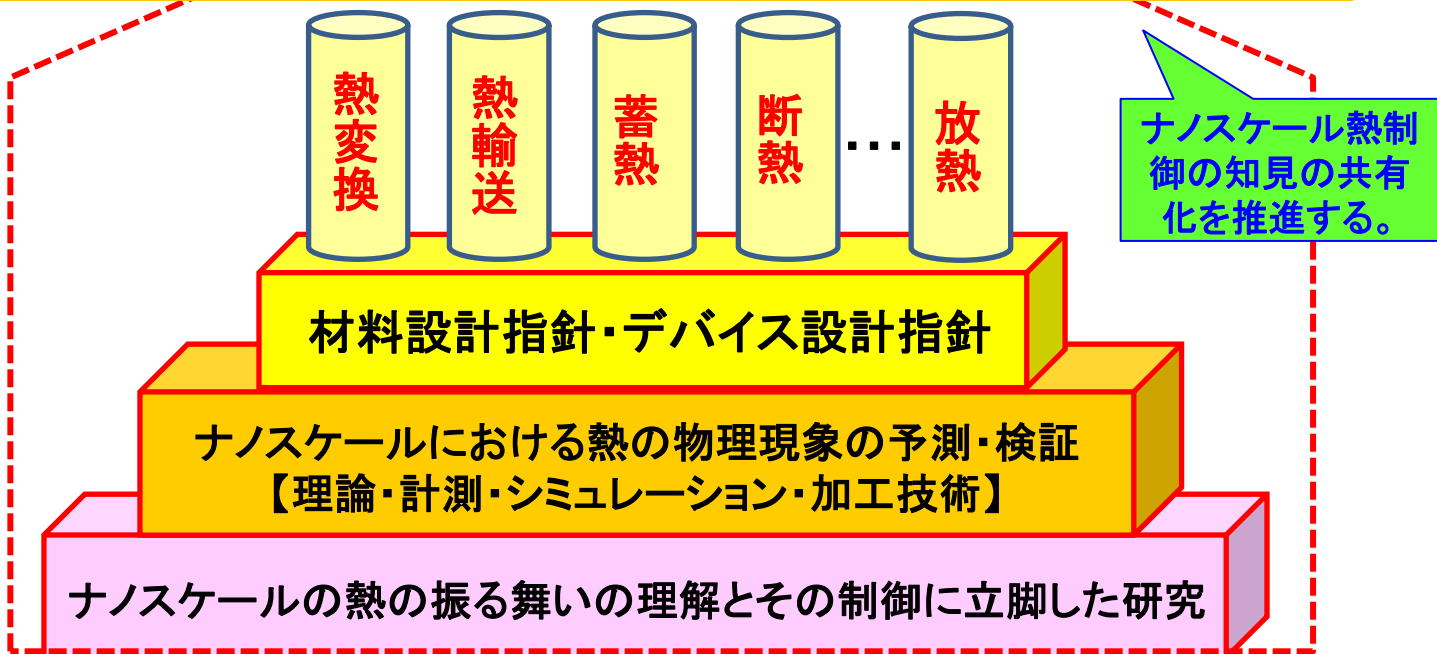
参考: CRDSワークショップ報告書(CRDS-FY2014-WR-15)

2. 本領域のイメージ

情報通信・環境・エネルギー・健康・医療・インフラ等の分野



◆熱制御(指向性、選択性)技術の獲得
◆マクロな熱とミクロな熱(マルチスケール)の学理体系の一体化



3. 領域アドバイザー、領域運営アドバイザー

氏名	所属	専門
小原 春彦	産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 理事/領域長	熱電変換、超伝導
喜々津 哲	(株)東芝 研究開発センター シニアエキスパート	半導体プロセス
徐 一斌	物質・材料研究機構 統合型材料開発・情報基盤部門 副部門長	情報科学、熱電材料
常行 真司	東京大学 大学院理学系研究科 教授	計算物質科学
鶴田 隆治	九州工業大学 工学研究院 教授	熱工学、エネルギー学
花村 克悟	東京工業大学 工学院 教授	熱工学、近接場光学
平山 祥郎	東北大学先端スピントロニクス研究開発センター 総長特命教授・センター長	スピントロニクス
藤田 博之	東京都市大学 総合研究所 特任教授	MEMS、センサ
森 孝雄	物質・材料研究機構 機能性材料研究拠点 グループリーダー	熱電材料
山内 崇史	(株)豊田中央研究所 エネルギーマネジメント研究領域 Leading Researcher	熱マネジメント
山根 常幸	(株)東レリサーチセンター研究部門 技術・特許調査研究 部 取締役・研究副部門長・部長	材料物性、熱計測
運営アドバイザー 馬場 寿夫	科学技術振興機構 研究開発戦略センター フェロー	材料物性

4. 選考の基本方針

【対象となる研究分野】

- 「放熱」「熱輸送」「熱発生」「断熱」「蓄熱」「熱変換」「輻射」等の熱制御技術において、斬新かつ挑戦的な提案。

【本領域における観点】

- ナノスケール(ミクロスケール)の熱の振る舞いの理解とその制御に立脚しているか。
- 研究の将来展望に関しての応用展開や企業連携のイメージはあるか。

2017年度	応募58件	採択5件
2018年度	応募48件	採択5件
2019年度	応募31件	採択3件

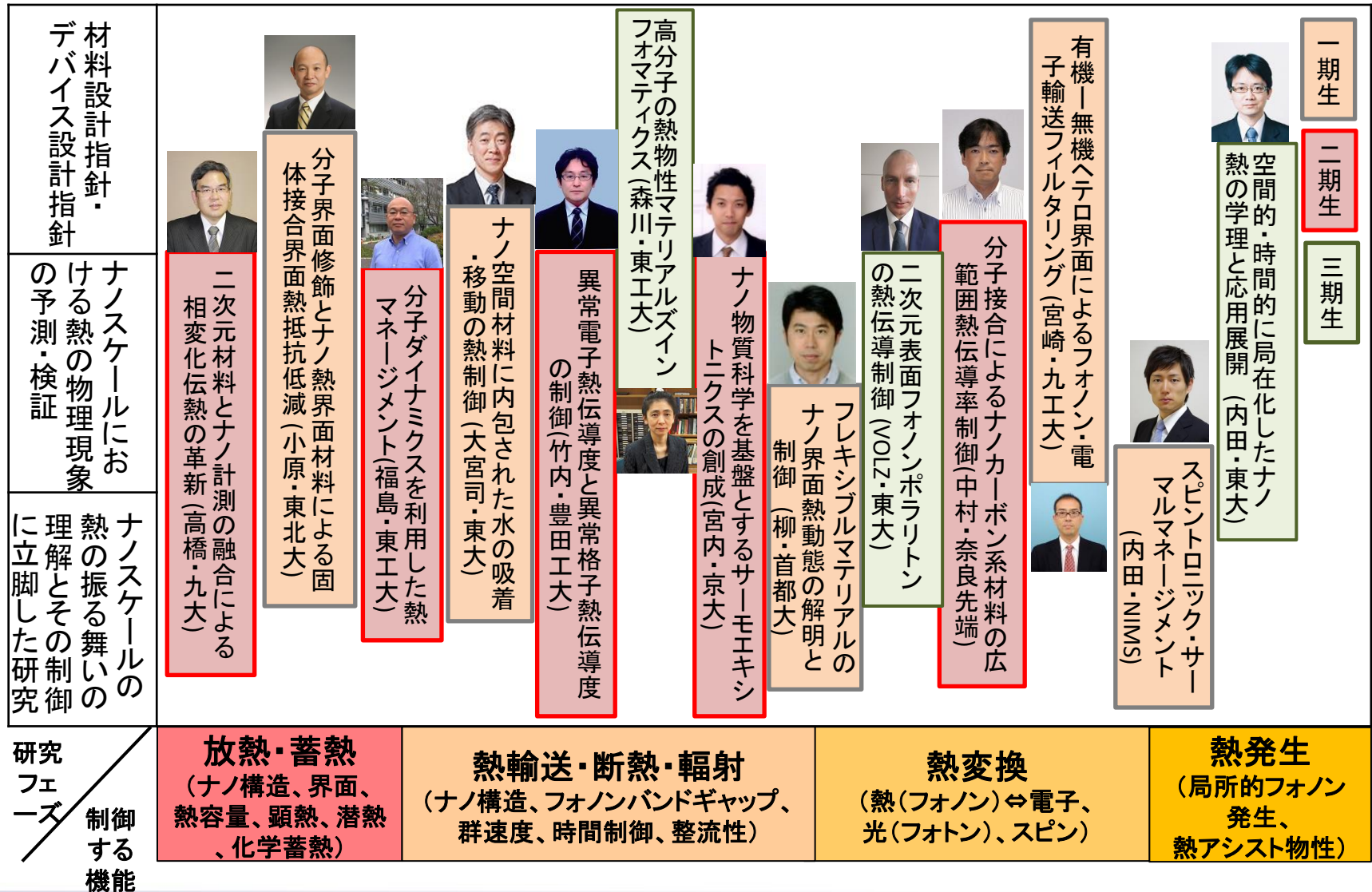


採択合計13研究チーム

採択課題一覧

年度	研究代表者	採択時所属・役職（中間評価時）	研究課題
2017	内田 健一	物質・材料研究機構・グループリーダー	スピントロニック・サーマルマネジメント
1期生	小原 拓	東北大学・教授	分子界面修飾とナノ熱界面材料による固体接合界面熱抵抗低減
	大宮司 啓文	東京大学・教授	ナノ空間材料に内包された水の吸着・移動の熱制御
	宮崎 康次	九州工業大学・教授	有機-無機ヘテロ界面によるフォノン・電子輸送フィルタリング
	柳 和宏	首都大学東京・教授 (東京都立大学・教授)	フレキシブルマテリアルのナノ界面熱動態の解明と制御
2018	高橋 厚史	九州大学・教授	二次元材料とナノ計測の融合による相変化伝熱の革新
2期生	竹内 恒博	豊田工業大学・教授	異常電子熱伝導度と異常格子熱伝導度の制御
	中村 雅一	奈良先端科学技術大学院大学・教授	分子接合によるナノカーボン系材料の広範囲熱伝導率制御
	福島 孝典	東京工業大学・教授	分子ダイナミクスを利用した熱マネジメント
	宮内 雄平	京都大学・准教授 (京都大学・教授)	ナノ物質科学を基盤とするサーモエレクトロニクス創成
2019	Sebastian VOLZ	東京大学・LIMMS Director	Controlling Two-dimensional Surface Phonon Polariton Heat Transfer
3期生	内田 建	東京大学・教授	空間的・時間的に局在化したナノ熱の学理と応用展開
	森川 淳子	東京工業大学・教授	高分子の熱物性マテリアルズインフォマティクス

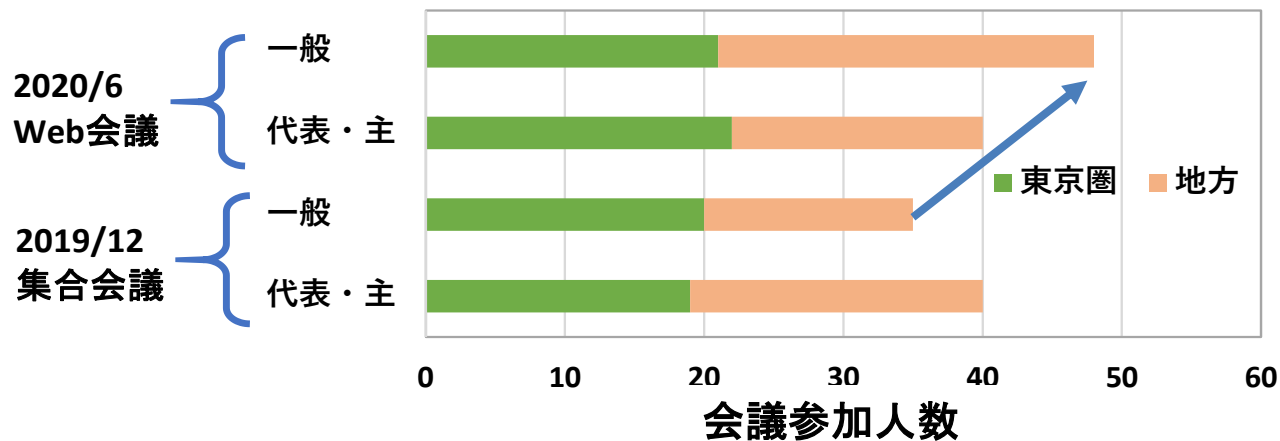
研究領域ポートフォリオ



5-1. [領域運営] 会議開催

■キックオフ会議、領域会議

- ・新規採択直後にキックオフ会議を実施(3回:2017~2019年度)
- ・各年度の1Qに領域会議実施(4回:2018~2021年度)
全研究チームの進捗状況の報告と議論
- ・対面領域会議ではさきがけ「熱制御」と合同開催(2回:2018~2019年度)
ポスター展示も併用して研究者間の交流を促進
- ・2020年度以降はWeb会議だが、地方からの参加者が増加



■サイトビジット、個別面談

- ・全チームのサイトビジットにより研究環境を確認
- ・研究進捗を議論する個別チーム面談を必要に応じて実施

5-2. [領域運営] 領域内の研究連携

■ワイヤ状試料の精密熱伝導率測定技術の確立

- ・領域内4チーム(中村チーム、小原チーム、宮崎チーム、高橋チーム)が同一試料によるラウンドロビンテストを実施して各測定法の精度を同定
- ・総括裁量経費で実験費用を支援

■CREST/さきがけ「熱制御」の連携

- ・CREST高分子研究会(福島チーム、森川チーム、さきがけ村上研究者、澤田研究者)
- ・福島チーム: 界面熱制御用に合成した有機材料を提供
- ・森川チーム: 材料熱特性の精密測定に協力

■「マイクロ・ナノ熱工学の進展」書籍発行

- ・研究総括が編集代表者となり、当領域の研究者が多数参加(内田健一、大宮司、山本、菊川、小原、宮内、山口、宮崎、竹内、福島、森川、八木、他)して、研究成果をまとめた書籍を発行

第1・2編では基礎編として、マイクロ・ナノ領域での熱物質移動現象の特性を明らかにするとともに、その理論的背景や解析手法、計測手法等を解説。第3～5編では応用編として、最近の研究進展が目覚ましいナノ材料、デバイス、計測技術について解説。



5-3. [領域運営] 海外連携の促進

■ シンポジウムやワークショップの開催促進

- ・国際強化支援制度の活用によるワークショップ等の開催支援
- ・国際学会等の開催案内周知による投稿促進
- ・コロナ禍でもWeb会議により海外連携を継続

実施年度	会議名	形態	参加国
2017-2022	Workshop on Thermal and Charge Transport across Flexible Nano-interface(TCTFN)	ワークショップ	シンガポール、中国、米国、欧州
2018-2022	フラーレン・ナノチューブ・グラフェン総合シンポジウム	シンポジウム	欧州、米国
2019	トポロジカル物質とスピントロニクス研究分野の融合研究に向けた国際WS	ワークショップ	米国プリンストン大
2020	伝熱マテリアルズ・インフォマティクスに関する日米合同ワークショップ	ワークショップ	米国NSF

■ 海外契約、海外研究参加者、派遣、招へいによる海外交流

- ・柳チーム：米ライス大・河野教授との主たる共同研究者契約でCNT熱電性能向上へ
- ・森川チーム：豪スウィンバン工科大、独アーヘン工科大、米ノートルダム大等
海外の研究参加者により高分子データベース構築へ
- ・派遣、招へい：国際強化支援制度だけでなく、期中に総括裁量経費でも支援
2019年度：国際強化3件、総括裁量4件

5-4. [領域運営] 予算配分

■ 採択時予算

- ・領域内のハブとなる、界面熱特性の数値計算法と実験計測法を研究課題に含む小原チームに**重点配分**

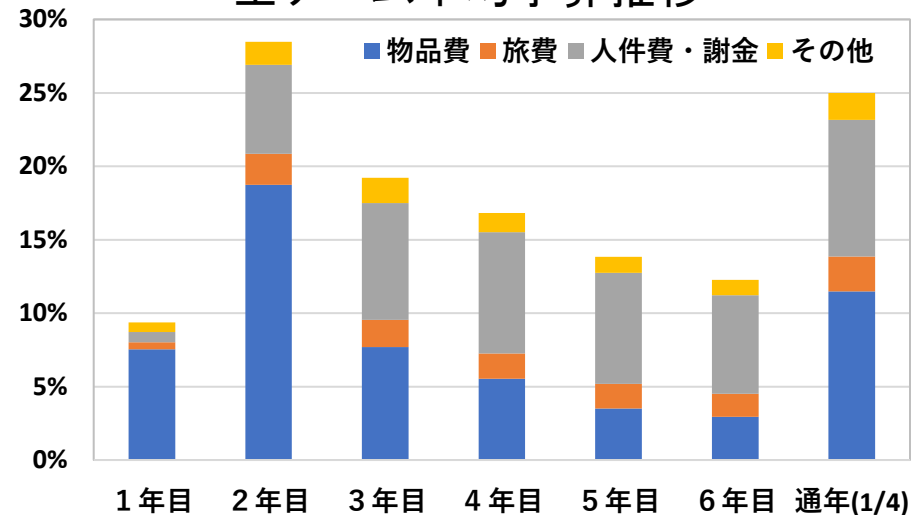
■ 総括裁量経費

- ・採択時に研究課題当たり2~3千万円程度の総括裁量予算枠を確保
- ・海外連携や領域内連携の促進に**優先的に配分**
- ・研究者雇用やシステム運用など、継続的な予算手当が必要な研究促進提案に対して、**複数年増額支援**で対応

【内田健一、内田建、宮崎、Volzチーム共同】第一原理熱伝導計算によるフォノン非調和物性データベースを構築と運営(4年間)

【柳チーム】理論解析研究グループを主たる共同研究者に追加(3年間)
他多数

全チーム平均予算推移



5-6. [領域運営] 研究進捗管理

■ 研究チーム体制の見直し

- ・小原チーム：研究開始当初は8グループで構成し、領域のハブとなる測定法等の課題も含まれるため委託研究費も重点配分を行った。しかし、2年次が経過した時点で、手がける研究内容が発散する傾向となったため、指導により熱界面材料(TIM)開発関係のテーマを集約し、2グループの活動を中止して6グループに再編した。
- ・柳チーム：研究開始当初は、実験や評価を中心とする4グループで構成したが、2年目から海外の材料開発研究者を加えて5チーム体制とした。その後、材料開発の進展により理論面の増強が必要となったので、総括裁量経費による予算増額支援で、4年目から宮内チームの共同研究者を新たなグループとして加え6チーム構成に再編した。

■ 個別チーム対応による管理

- ・目標に対して進捗のかんばしくない研究チームに対しては、個別チーム面談の場においてテーマの見直しや、今後の研究方針の議論を実施した。成果目標未達であっても、課題点や改善点については明確することを期待している。
- ・総括裁量経費による増額希望については、進捗・成果を加味して優先度を付けた配分を実施している。

6. 成果発表件数

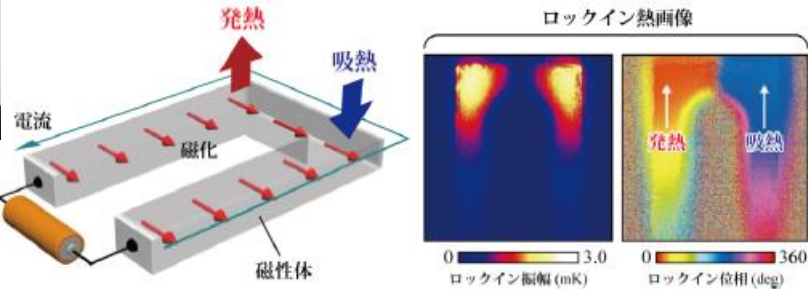
(1, 3期は2020年度末、2期は2021年度上期現在)

	論文			特許出願		口頭発表 (招待講演)		
	合計	国内	国際	国内	国際	合計	国内	国際
2017年度1期 5チーム合計	196	0	196	12	0	489 (180)	321 (86)	168 (94)
2018年度2期 5チーム合計	284	14	270	11	3	725 (175)	393 (88)	332 (87)
2019年度3期 3チーム合計	62	0	62	0	0	120 (58)	105 (49)	15 (9)
領域合計	542	14	528	23	3	1334 (413)	819 (223)	515 (190)

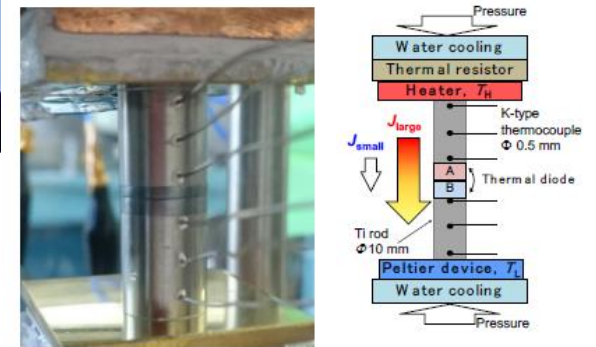
* 3期チームは、採択直後にコロナ禍となったため、発表の機会が減っている

7-1. [研究例] バルクや固体表面の物理

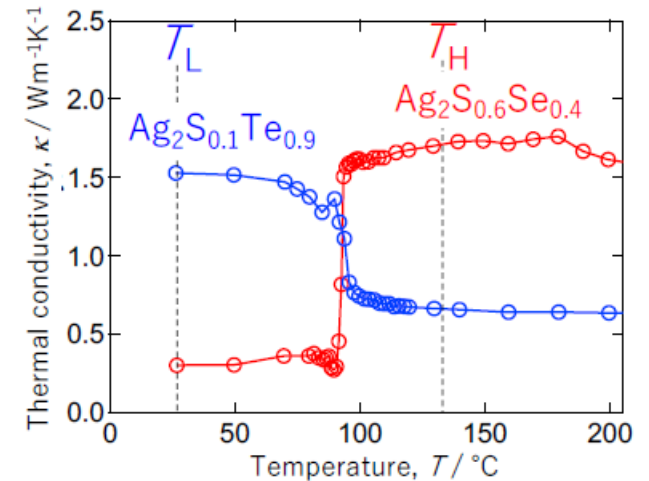
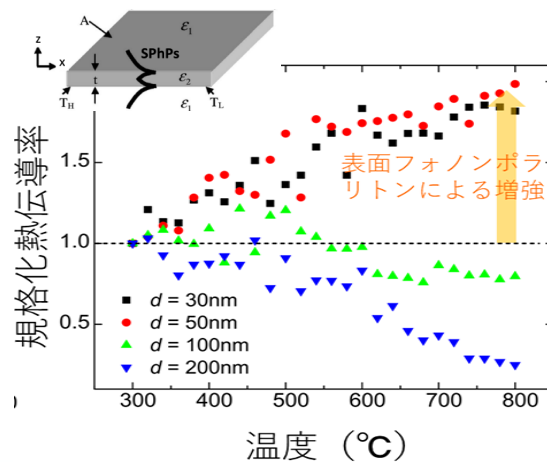
内田健一チーム：異常エッチングスハウゼン効果



竹内チーム：熱ダイオード

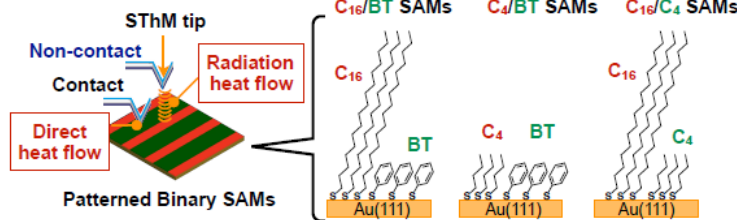
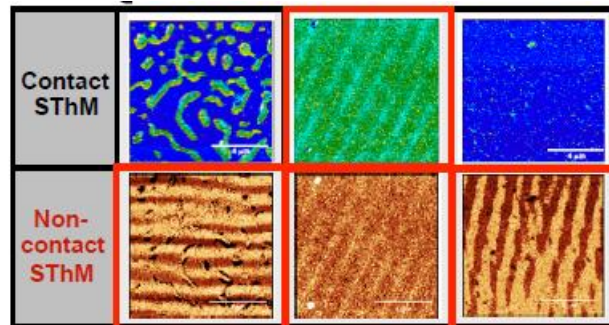
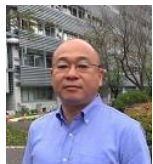


Volzチーム：二次元表面フォノンポラリトン



7-2. [研究例] 熱特性計測技術

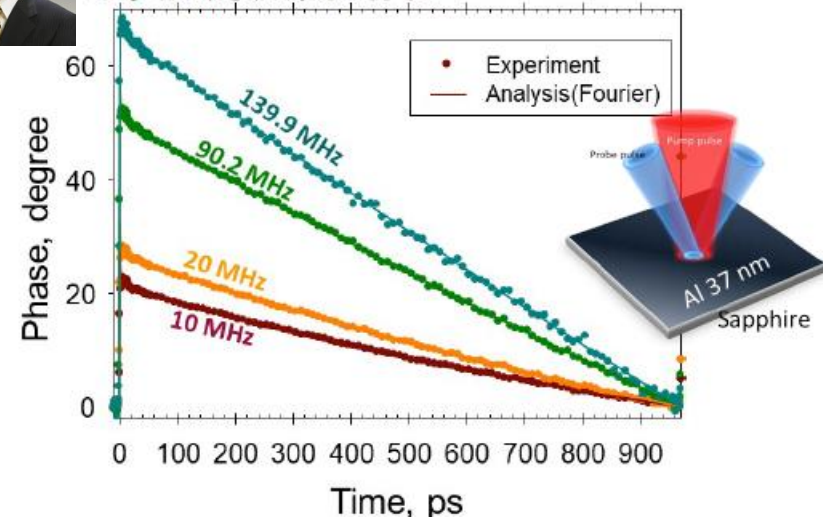
福島チーム：分子レベル熱伝導イメージング



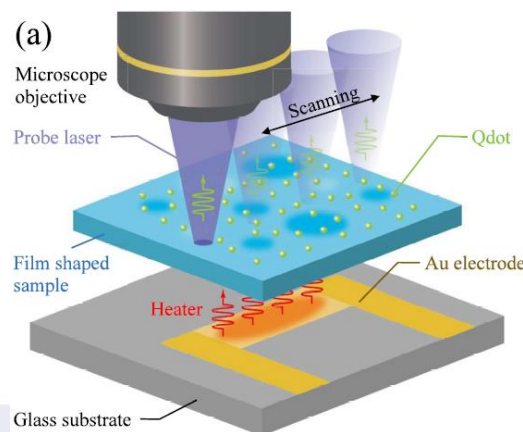
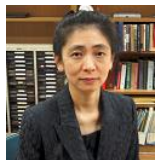
小原チーム：フォノン熱輸送計測



Al 37 nm/サファイア基板のTDTR信号の変調周波数依存性

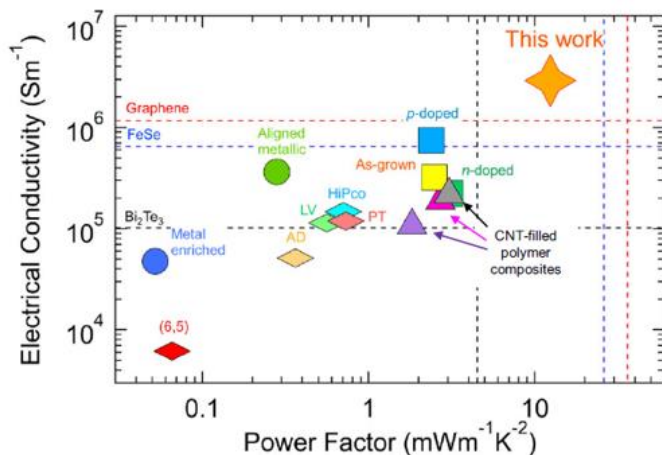
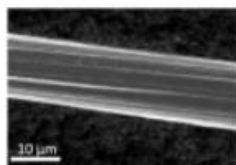


森川チーム： ナノサイズの熱特性検出

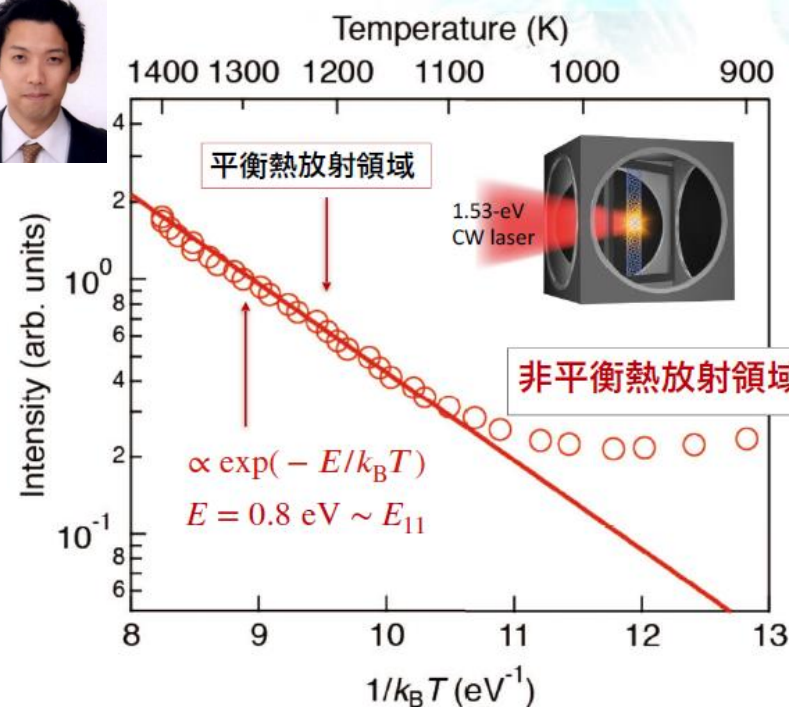


7-3. [研究例] カーボンナノチューブ (CNT) 材料

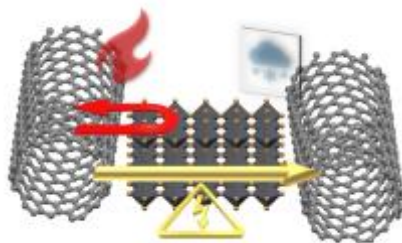
柳チーム: CNTにおける高熱電特性



宮内チーム: CNTの非平衡熱励起子放射

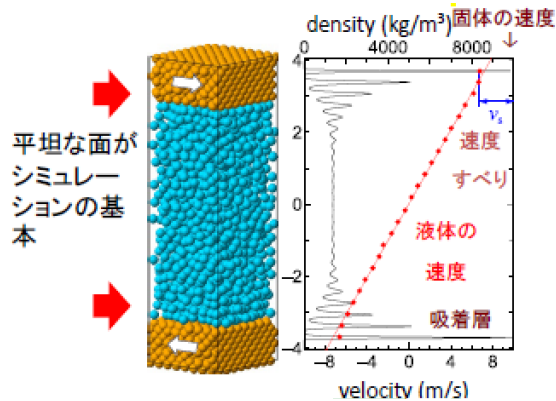
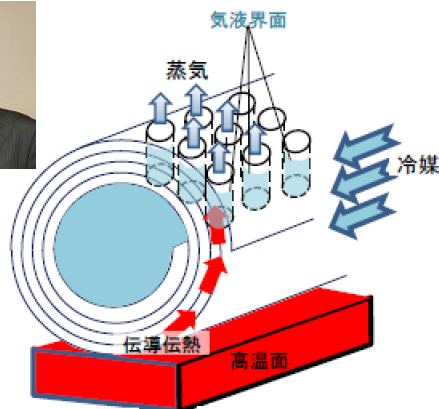


中村チーム: CNT間の分子接合による熱輸送制御

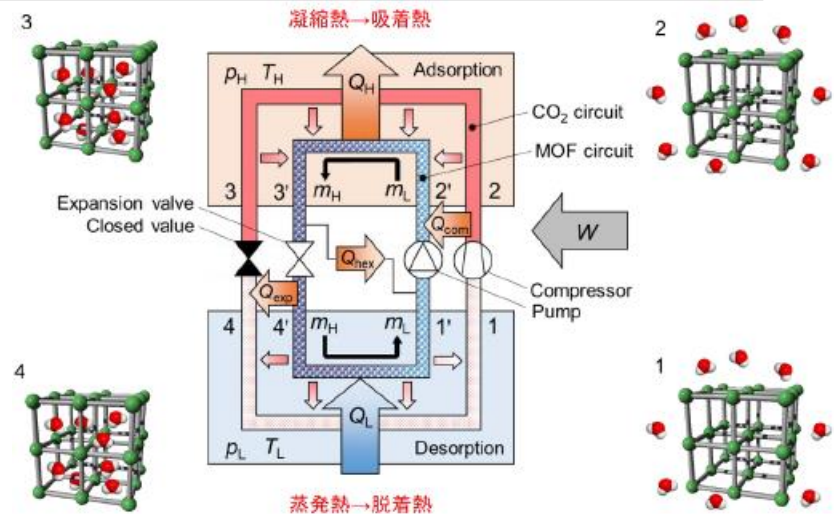


7-4. [研究例] 熱輸送

高橋チーム: グラフェンすべり濡れ制御によるヒートパイプ

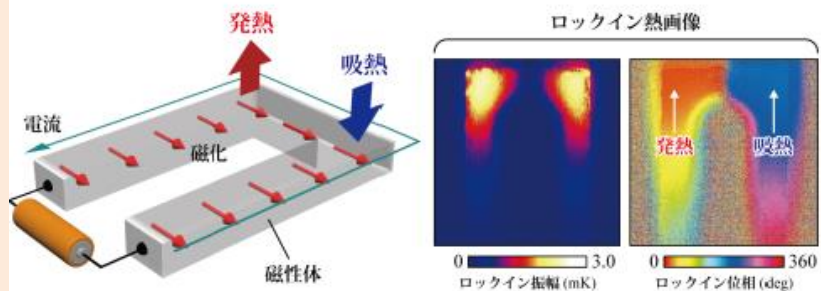


大宮司チーム: ナノ空間材料によるヒートポンプ



8. プレス発表例

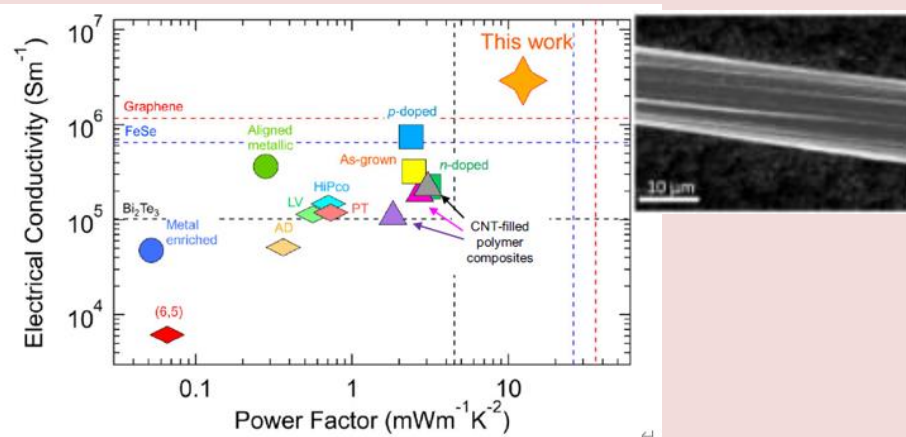
内田健一チーム
異方性磁気ペルチェ効果の世界初の観測



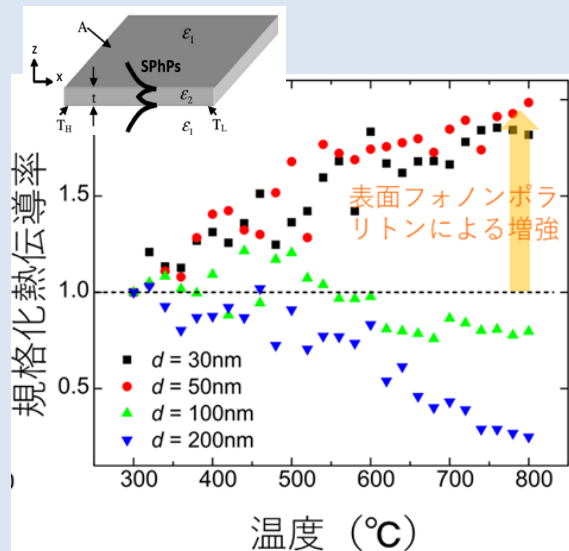
K. Uchida *et al.*, *Nature* 558, 95–99 (2018).
NHKニュース、日本経済新聞等で報道

柳チーム

カーボンナノチューブで大きな熱電性能実現



Nature Communications vol.12, 4931 (2021)



Volzチーム(微小エネルギー領域と共同)

表面フォノンポラリトンによる薄膜
熱伝導率を倍増

SCIENCE ADVANCES, Vol 6, Issue 40 (2020)

9. 今後の展望について

■ 科学技術イノベーション創出

- ・ナノスケール熱動態という研究領域で工学と理学分野との連携が格段に進み、熱移動の体系化と学理の構築が進んでいることは意義深い。
- ・学理構築を他分野の研究者がツールとして利用できる形までの一般化が今後の課題となる。

■ 所感

- ・分野融合や境界領域の研究を促進することは、想像以上に難しい。分野ごとの慣習の差異や、分野ごとに研究の評価基準にも配慮が必要。
- ・いくつかのサブピックに対する複数チームの連携というスタイルでの共同研究が進んでいる。ナノスケール熱動態をすこしシャープな材料系や物理に絞り込んだ戦略目標があっても良い。例えば、「低次元ヘテロ材料界面における熱動態の制御とデバイス開発」。

ご静聴ありがとうございました。