ISSN 2185-372X

THERMAL ENGINEERING

TED Newsletter on the WEB

日本機械学会熱工学部門ニュースレター
TED Newsletter No.77 December 2015

目　　次

1. TED Plaza
- 反射体を用いた大口径 PDE イニシエータに関する研究
  脇田 督司（北海道大学）
- フォトニクスからフォノニクスへ
  ～熱フォノニクスによる熱伝導制御～
  野村 政宏（東京大学 ）

2. 2015 年度年次大会熱工学部門報告

3. 熱工学コンファレンス 2015 開催報告

4. 熱工学コンファレンス・プレコンファレンスワークショップ開催報告

5. 第 92 期（2014 年度）熱工学部門賞・部門一般表彰報告

6. 行事案内
- 部門企画行事案内
- 部門関連行事案内（国内）
- 国際会議案内

7. その他
- 編集後記

TED Plaza

反射体を用いた大口径 PDE イニシエータに関する研究

脇田　督司

北海道大学　助教
大学院工学研究院　機械宇宙工学部門
m-wakita@eng.hokudai.ac.jp

１．はじめに

デトネーションは，可燃性混合気中を先行衝撃波とそれによって誘起される反応面とが一体となって超音速で自走伝播する燃焼波である．一般的な燃焼波の伝播形態であるデフラグレーションに比べて伝播速度が格段に速く（2~3 km/s），デトネーションが伝播した可燃性混合気は瞬時に燃焼し高温・高圧の既燃ガスになる．Zeldovich（1940）（Zeldovich ，2006）は，デトネーションを利用した熱サイクルの理論熱効率がブレイトンサイクル（定圧燃焼サイクル）よりも高いことを示した．デトネーションを推進機関に利用する研究は 1940 年に Hoffmann（1940）によってはじめられ，1957 年に Nicholls らによってパルスデトネーションエンジン（PDE）が提案され基礎研究がおこなわれた（Nicholls, et al.,1957）．しかし当時はデトネーションそのものに対する理解がまだ十分ではなく，研究はあまり進展しなかった．その後，デトネーションに関する基礎的な理解が深まるにつれ，1980 年代後半から 1990 年代前半にかけて，PDE をはじめとするデトネーションを利用した推進機関に関する研究が再び盛んに行われるようになり，現在では，デトネーション波の推進利用のみをターゲットにした International Workshop on Detonation for Propulsion が毎年開催されるなど，本研究分野に対する国際的関心は極めて高い．デトネーションの推進利用に関するこれまでの研究は，Eidelman ら（1991），Kailasanath（2000，2003），Roy ら（2004）により優れたレビュー論文が発表されているので参照されたい．現在，デトネーション波を利用した推進機関には前述の PDE とローテーティングデトネーションエンジン（RDE）の 2 方式が主に検討されている．PDE と RDE の最近の研究動向に関しては笠原（2013）により詳細に述べられているので参照されたい．

はじめに PDE のサイクルを図 1 を使って簡単に説明する．PDE はまず片側が閉じた管内に可燃性混合気が充てんされる（図 1-①）．次に左端壁面で混合気に点火し，デトネーションが伝播す

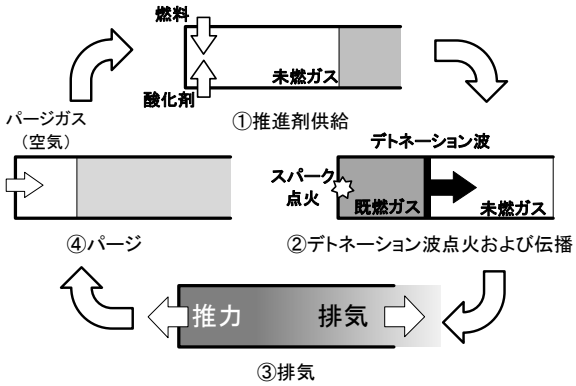


Fig. 1　The cycle of a pulse detonation engine

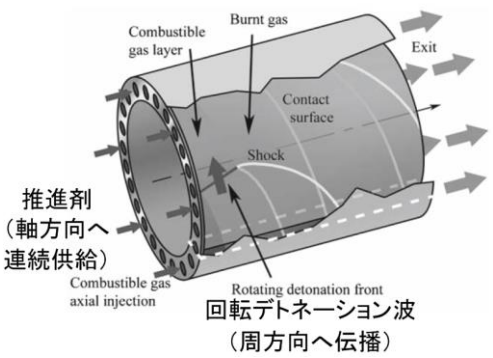


Fig. 2　The concept of a rotating detonation engine

る（図 1-②）．点火直後の燃焼波はデフラグレーションであることが多いが，膨張した既燃ガスにより加速されデトネーションに遷移する．デトネーションが伝播し高温・高圧になった既燃ガスを開管端から噴出させ推力を得る（図 1-③）．最後に既燃ガスと新たに充填される次サイクルの混合気を分離するために空気などのガスを充てんするパージ過程（図 1-④）を経て，①に戻る．PDE は構造が極めてシンプルで，周波数制御により自由にスロットリングが可能といった特長があるが，推進剤を間欠供給するため大流量化が難しく，またサイクル間の燃焼を分離するためのパージ過程の存在により高周波数化も困難である．結果，高推力 PDE は実現していない．

PDE に対して，近年一段と注目されているのが RDE である．RDE は，2 重円環流路に軸方向から超音速ノズルを利用したインジェクターによって供給された推進剤を，周方向に伝播する回転デトネーションで連続的に燃焼させて推力を得る推進機関である（図 2）（Wolanski, 2013）（Hishida, et al., 2009）．特長として，デトネーションの開始が最初の一度きりでよく，PDE のようなパージ過程を必要としないため大流量の推進剤を連続供給でき高推力を得ることができる．一方課題として，周波数が数 kHz オーダーになるため，デトネーションが燃焼器の上流部数 cm のごく限られた領域で伝播し，燃焼室壁面の熱負荷が極めて大きいこと，また，回転デトネーション波が成立可能な流量条件に制約があるため，推力スロットリングできる幅が極めて狭いことなどが挙げられる．

２． 反射体を用いたデトネーションイニシエータ

PDE にしても RDE にしても，意図したタイミングでデトネーションを開始し，意図した方向や場所にそれを伝播させることが極めて重要である．水素 - 酸素混合気やアセチレンやエチレン - 酸素混合気といった反応性の高い混合気の場合は一般的なスパーク点火によって容易にデトネーションを開始することができる．しかしエアーブリージングエンジンとして PDE や RDE を運用する場合，酸化剤には空気，燃料には炭化水素系の液体燃料の利用が想定される．このような推進剤は一般的にデトネーションの開始が極めて困難である．また PDE の大推力化を図るために著者らは大口径デトネーション燃焼器の開発が重要と考えているが，デトネーション燃焼器の直径が大きくなるとデフラグレーションからデトネーションに遷移する距離が極めて長くなることが知られている．よってこのような条件下で，短距離短時間で大面積のデトネーション波を開始させることが可能なイニシエータ（開始機構）の開発が必要不可欠である．そこで著者らは図 3 に示すような「大口径 PDE 用イニシエータ」の開発を行っている（Wakita, 2013, 2012, 2007, 2011）．本イニシエータの特徴は，プリデトネータと呼ばれる細い衝撃波管を利用している点と，反射体とよばれる障害物を燃焼器内に設置している点である．本イニシエータでは燃料-酸素混合気（ドライバーガス）を用いてプリデトネータ内に生成した平面デトネーション波（図 3-A）を反射体に衝突させ，円筒波（図 3-B），円環波（図 3-C）と波面を拡大し，燃料-空気混合気（ターゲットガス）を連続供給した大口径 PDE 燃焼器に平面デトネーション波（図 3-D）を伝播させる．デトネーションの開始にドライバーガスを利用する場合，燃料に加えて酸化剤となる酸素も機体に追加搭載する必要があるため比推力が低下してしまうという問題がある．そこで可能な限り使用量

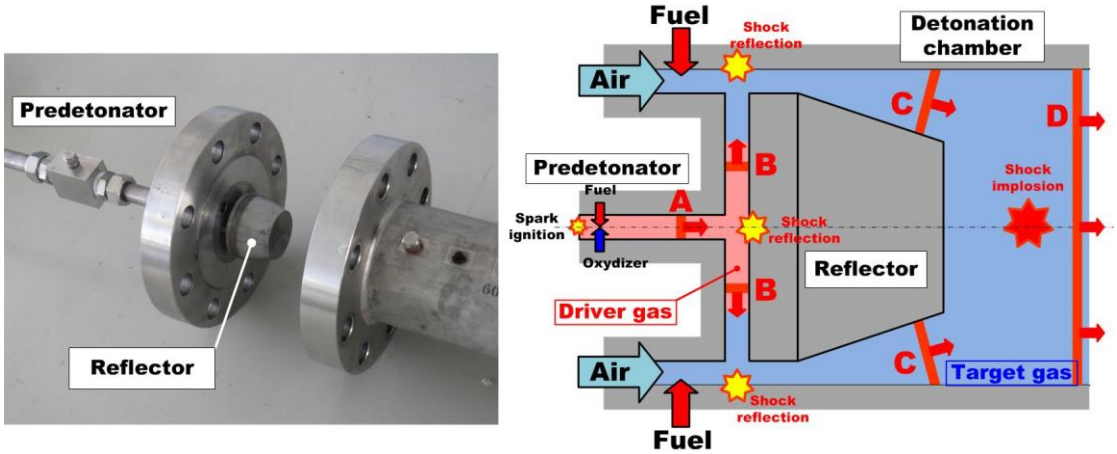


Fig. 3　The concept of a detonation initiator with reflector

を削減することが求められるが，これまでの研究成果により，本イニシエータにおけるターゲットガスに対するドライバーガスの利用割合は 1%以下であることが示されている（Wakita，2013，2012）．また，本イニシエータの重要な特長として，波面拡大の大部分を円筒デトネーション波（図 3-B）が担っている点が挙げられる．一旦，中心部でデトネーション波が開始すれば消炎せずに半径方向に自走伝播するというこの円筒波の性質と，デトネーション波が伝播する途中で複数回壁面に衝突することによる伝播促進効果により，本イニシエータは，拡大管路によりデトネーション波面を単純拡大する場合に比べて，エンジン全体の L/D を劇的に小さくすることができる．

３． 拡大流路における円環デトネーション波の伝播限界

前述の通り，著者らが提案するイニシエータではデトネーション波は 4 つの伝播形態をとる．その内，円筒デトネーション波（図 3-B）は拡大過程において一定速度で伝播する安定なデトネーション波が形成されれば，半径方向に拡大伝播する過程で消炎することはない．一方，円環デトネーション波（図 3-C）に関しては，その拡大角によってデトネーション波の伝播限界に違いが生じる．本節ではこの拡大流路における円環デトネーション波の伝播限界に関して，著者らが得た知見を紹介する（Wakita，2011）．

実験装置を図 4 に示す．実験装置は燃焼器，プリデトネータ，円錐形状反射体からなる．燃焼器の内径は 100 mm，プリデトネータの内径 d は 10 mm である．円錐形状反射板は円筒部 II と円錐部 III からなり，円筒部の直径を変化させることにより流路幅 L を 5,10,15,20 mm，また円錐部の半頂角（流路の拡大角）αを 15～90 度に変化させて実験を行うことができる．燃焼器などの壁面を灯油等であぶってすすを付着させておくと，デトネーション波が通過時に図 5 に示されるような特徴的な魚鱗模様が観察される．この鱗模様の一つをデトネーションのセルといい，このセルの幅を一般的にセルサイズλと呼ぶ．セルサイズは混合気の組成，初期圧力，および初期温度のみによって決まり，混合気の反応性が高い気体ではセルは小さくなり，反応性が低い気体では大きくなる．図 5 においてデトネーション波は左から右に伝播しており，破線 B の位置が円筒部と円錐部の境界位置である．図 5 の上図はデトネーションのセル模様が破線 B を通過しても変化しておらず，デトネーション波が消炎せず連続的に伝播していることが示されている．一方，図 5 の下図は，破線 B を通過したデトネーション波は破線 C の位置で消炎している．上図の条件を Go，下図の条件を Nogo とし，全実験結果をまとめたものを図 6 に示す．図中の白抜きが Go，中実のシンボルが Nogo である．縦軸は円筒流路幅 L をデトネーション波のセルサイズで無次元化したもの，横軸は拡大角αである．図を見て明らかなように拡大角αが 15 度の条件では L/λ が 4 以下でも伝播に成功しているのに対し，拡大角αが 30 度以上の条件では伝播可能な L/λ の下限は 4 程度で一定であることが分かる．この傾向はどの流路幅においても同様である．よって拡大流

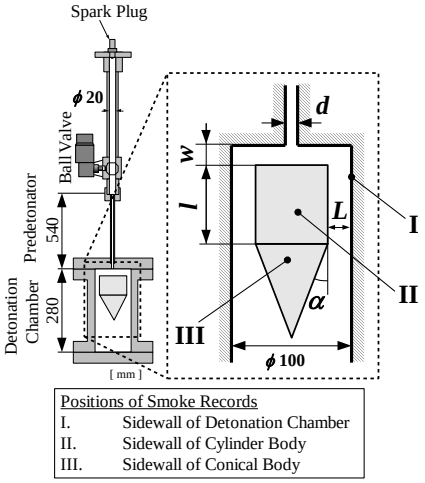


Fig. 4 Experimental apparatus

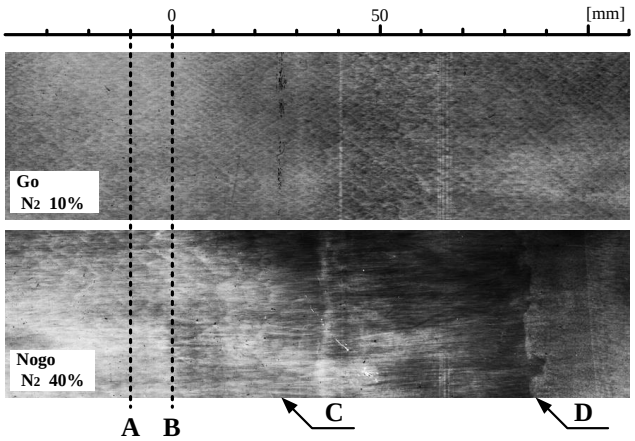


Fig. 5 Smoke records on the wall (Fig. 4-I)

路における円環デトネーション波の伝播限界は拡大角が 30 度以下の条件で向上することが示された．図 7 に円環デトネーション波が反射体円錐部に入射する場合の概念図を示す．図中の細線はデトネーション波の三重点の軌跡を表す. 本研究で用いた水素-酸素-窒素系におけるデトネーション波三重点の軌跡の角度 ϕ は約 30 度である．円錐部入射時に一番反射体に近い三重点の軌跡 A に注目すると, 拡大角が 15 度の場合はこの軌跡が壁面に衝突し強い局所爆発を起こす. その結果, 三重点の軌跡が破線 B のように反射し，デトネーション波の消炎を抑える効果が生じる．一方, 円錐角が 45 度以上の場合は，この三重点の軌跡が円錐部壁面に衝突することなく，上記の反射の効果を得られないため，拡大流路によるデトネーション波の伝播限界の向上効果が見られないものと考えられる．

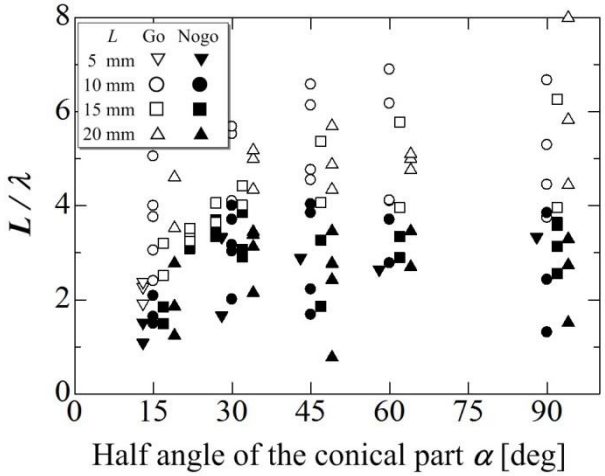


Fig. 6　The transition status

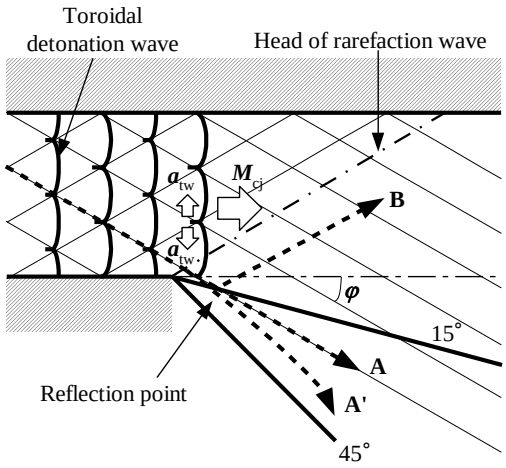


Fig. 7　2D conceptual diagram of the transition of the planar toroidal detonation at the convex corner.

４．　おわりに

本稿では，デトネーションを利用した推進機関であるパルスデトネーションエンジン（PDE）と最近注目されているローテーティングデトネーションエンジン（RDE）に関して紹介し，著者らが開発している「大口径 PDE 用イニシエータ」のコンセプトと，その内部における円環デトネーション波の伝播限界に関し，著者らが最近得た知見に関して紹介した．デトネーションに関する研究は過去現在を問わず，主に爆発安全の観点から盛んに研究されてきた．長年の研究の積み重ねにより，デトネーションは過去の手に負えない危険な存在から，人の手で自在にコントロールし，より積極的で有益な利用が可能になってきている．今後も推進用途のみならず，デトネーションの新たなる利用分野の開拓が望まれる．

謝　辞

本研究は JSPS 科研費 25870006，21760646 の助成を受けたものです．

References

(1) Zeldovich, Ya. B., Journal of Propulsion and Power, Vol. 22 (2006), pp. 588-592.
(2) Hoffmann, H., German Aeronautical Research, Research Report No. 1265 (1940).
(3) Nicholls, J. A., Wilkinson, H. R. and Morrison, R. B., Intermittent Detonation as a Thrust-Producing Mechanism, Jet Propulsion, Vol. 27, No. 5 (1957), pp. 534-541.
(4) Eidelman, S., Grossmann, B. and Lottati, I., Review of propulsion applications and numerical simulations of the pulsed detonation engine concept, Journal of Propulsion and Power, Vol. 7, No. 6 (1991), pp. 857-865.
(5) Kailasanath, K., Review of Propulsion Applications of Detonation Waves, AIAA Journal, Vol. 38, No. 9 (2000), pp. 1698-1708.
(6) Kailasanath, K., Recent Developments in the Research on Pulse Detonation Engines, AIAA Journal, Vol. 41, No. 2 (2003), pp. 145-159.

(7) Roy, G. D., Frolov, S. M., Borisov, A. A. and Netzer, D. W. Pulse Detonation Propulsion: Challenges, Current Status, and Future Perspective, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 30, No. 6 (2004), pp. 545-672.
(8) 笠原次郎, パルスデトネーションエンジン開発の現状, 日本燃焼学会誌, Vol. 55 No. 174 (2013), pp. 337-348.
(9) Wolanski, P., Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 34 (2013), pp125-158.
(10) Hishida, M., Fujiwara, T. and Wolanski, P., Shock Waves, Vol. 19 (2009), pp 1-10.
(11) Wakita, M., Tamura, M., Terasaka, A., Sajiki, K., Totani, T. and Nagata, H., Detonation Transition around Cylindrical Reflector of Pulse Detonation Engine Initiator, Journal of Propulsion and Power, Vol. 29, No. 4 July–August (2013), pp. 825-831.
(12) Wakita, M., Tamura, M., Terasaka, A., Sajiki, K., Totani, T. and Nagata, H., Development of Pulse Detonation Engine Initiator Using Reflector for Large Bore Combustor, TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN, Vol. 10, No. ists28 (2012), pp.Pa_31-Pa_36.
(13) Wakita, M., Numakura, R., Itoh, Y., Sugata, S., Totani, T. and Nagata, H., Detonation Transition Limit at an Abrupt Area Change Using a Reflecting Board, Journal of Propulsion and Power, Vol. 23, No. 2 (2007), pp. 338-344.
(14) Wakita, M., Numakura, R., Asada, T., Tamura, M., Totani, T. and Nagata, H., Driver Gas Reduction Effect of Pulse-Detonation-Engine Initiator Using Reflecting Board, Journal of Propulsion and Power, Vol. 27, No. 1 (2011), pp. 162-170.
(15) Wakita, M. Tamura, M. Terasaka, A. Sajiki, K., Totani, T. and Nagata, H., Planar toroidal detonation propagation through gradual expanding channel, Proceedings of the 23rd International Colloquium on the Dynamics of Explosions and Reactive Systems (ICDERS) (2011), Irvine, USA, R11A -98 (on USB).

TED Plaza

フォトニクスからフォノニクスへ
～熱フォノニクスによる熱伝導制御～

野村　政宏

東京大学生産技術研究所　准教授
大学院工学研究科　電気系工学専攻
nomura@iis.u-tokyo.ac.jp

１．はじめに

私は卒業論文以降，自分の研究室をもって現在の分野に飛び込むまでずっと光の分野で研究を行っていた．そのときには，機械学会の学会誌に寄稿するとは夢にも思わず，熱工学部門のニュースレターに執筆する機会を頂いたことに感謝したい．連続性を持ちつつも大きく分野を変えた経験が多少なりとも読者の参考になることを期待して経緯を述べた後，掲題の研究を紹介したい．

私は物理工学の出身であり，学部生，修士，博士課程，特任助教と全て意識的にテーマを変えてきたが，それらは全て光学の範疇にあった．特任助教時代に荒川泰彦先生（東大生研）のもとで研究を行った量子ドット（Arakawa and Sakaki, 1982）とフォトニック結晶結合系の物理はおもしろく，フォトニック結晶ナノ共振器内のたった一つの量子ドットから光子が 1 つずつ放出される状態からレーザ発振状態を実現するテーマにはすっかり没頭してしまった（Nomura, et al., 2010）．低温で量子状態を制御する実験においてはコヒーレンスを破壊する熱は邪魔者であり，私も熱伝導を担う格子振動の量子であるフォノンにはあまり興味をもつことはなかった．

2010 年に研究室を主宰することになり，何か自分で新しい分野を拓きたいとあれこれ調べていたときに，これはおもしろいのでは？と出会ったのが，ナノ構造を使った熱伝導制御であった．それまであまり興味のなかった熱の世界に行き着いたのは今思っても不思議である．身の回りの全ての熱伝導現象は，熱の担い手である格子振動の量子（フォノン）を粒子的な描像だけで捉えて説明できる．しかし，そもそも振動なのだから波の性質ももっているわけで，それを制御に使えれば伝熱工学に新しい領域が拓けるだろうと考えるのは自然である．こうしてフォトニクスからフォノニクスへと研究の場が移ったわけであるが，ここに至るまで一年を要し，幾つもの研究ネタが現れては消えていった．その間，多くの議論をして頂いた平川一彦先生と藤田博之先生（東大生研）にこの場をお借りして感謝申し上げたい．特任助教時代は，自分ひとりが 2, 3 年程度のスパンで実行可能なテーマを見つけるだけでよかったが，研究室で新しいテーマを立ち上げるには，数人が 10 年間楽しめるボリュームが必要であると感じた．その作業はまさに桁違いに難しいものであったが研究者として一皮剥けるよい経験であった．

熱の世界に飛び込むことになり最初にお世話になったのが，丸山茂夫先生と塩見淳一郎先生（東大機械）である．物理工学のバックグラウンドを持つ私の分野への参入を歓迎し，適切な研究発表の場として当学会のマイクロ・ナノ工学部門が主催する「マイクロ・ナノ工学シンポジウム」をご紹介頂いた．以下，本シンポジウムで発表した内容も含めて掲題の研究の一部を紹介する．

２．研究の背景　～フォノンの粒子的描像と波動的描像～

ここで紹介される熱伝導は，熱流が温度勾配に比例するというフーリエ則が成り立たないナノスケールの熱伝導である．なぜそのようなことが起こるかというと，熱の担い手であるフォノンの輸送がフーリエ則の前提となっている拡散過程ではなくなるからである．ナノ構造においては，系のサイズがフォノンの平均自由行程（MFP）と同等になるため，フォノンの弾道的輸送特性を

考慮することになる．フォノンの弾道的輸送および構造による散乱に起因する特徴的なフォノン輸送は，原子スケールのカーボンナノチューブ（Hone, et al., 2000）とグラフェン（Seol, et al., 2010），半導体超格子構造（Narayanamurti, 1979），ナノ粒子内包構造（Rowe, et al., 1981），多孔質構造（Tang, et al., 2010），ナノワイヤー（Hochbaum, et al., 2008），フォノニック結晶(PnC)構造（Yu, et al., 2010; Zen, et al., 2014; Nomura, et al., 2015a）などの様々な構造で報告されている．これらの系で起こる熱伝導は，フォノン散乱過程や材料の形状・性質によって図 1 に示すようなインコヒーレントまたはコヒーレントフォノン熱伝導に分類される．大雑把に言うと，フォノンの MFP が系の特性長よりも十分に短い場合は拡散的熱伝導のため粒子的描像で記述でき，十分に長い場合は構造の影響を受ける伝導になるため，系に依存した熱伝導現象が観測される．特に PnC 構造では周期性に基づく干渉効果が発現し，フォノンの波動性に基づいた熱伝導現象が期待される．

また，ナノ構造化によって材料固有の熱伝導率を著しく低減することが可能になるため，熱電変換材料開発にも新しい選択肢を与えている．電子とフォノンの平均自由行程の長さの違いを利用して，電気伝導率をそれほど損なわずに熱伝導率を劇的に下げるアプローチも可能になった．これは，電荷と熱キャリアの違いを際立たせる加工によって，金属において熱伝導率と電気伝導率の比が温度に依存するという Wiedemann-Franz law の制約から解き放たれることを意味している（Dresselhaus, et al., 2007）．これまでに，もともとバルクでも高い熱電変換の性能指数 *ZT* を有する材料はもちろんのこと，*ZT* は極めて低いが無害で安価な材料についてもナノ構造化が行われ，多岐にわたる材料について高い *ZT* 値が報告されている（図 2(a)）．従来，熱電変換材料は大きなゼーベック係数を有する重元素を用いた材料に限られていたが，90 年代にナノ構造化による熱電変換能の増強が実証されたため，より多くの材料がナノ構造化されることで熱電変換材料として研究対象となった[Fig. 2(b, c)]そして，現在のところ全ての熱電変換材料中の熱伝導現象は粒子的描像で記述できるものである．

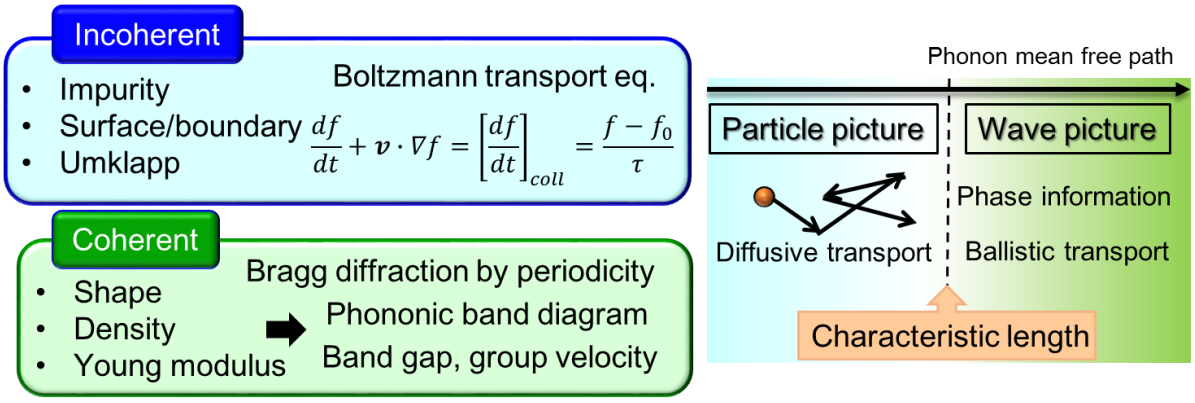


Fig. 1 Summary of coherent and incoherent phonon transport in semiconductor. In the incoherent (coherent) regime, phonon transport can be described by particle (wave) picture.

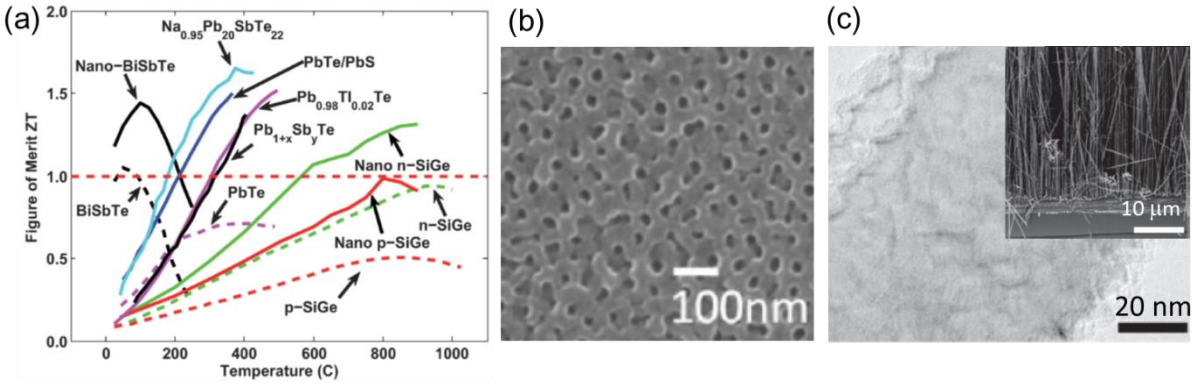


Fig. 2 (a) *ZT* values for various thermoelectric materials （Minnich, et al., 2009）. (b) SEM image of nanoporous BiSbTe（Kashiwagi, et al., 2011）, and (c) TEM image of Si nanowire（Hochbaum, et al., 2008）.

３．フォノニック結晶ナノ構造による熱伝導制御と熱電変換材料開発

本稿では，物理色の濃いフォノニクスによる熱伝導制御の話をする前に，興味のある読者が多いであろう熱電変換材料開発の話題にも触れてみたい．我々のグループでは PnC ナノ構造による熱伝導制御を行っており，フォノンの粒子性に加えて波動性も利用した熱伝導制御に挑戦している．そのためには，どの程度の寸法の周期構造が必要かを知るために，熱伝導に寄与するフォノン（熱フォノン）の MFP に関する情報が必要になる．フォノンはボーズ・アインシュタイン分布に従って周波数分布をしており，室温では MHz 程度から THz 領域に達している．これらのフォノンのうち，どの周波数帯のフォノンが主に熱伝導に寄与するかは自明ではない．熱電変換材料開発を念頭において熱伝導率の低減を狙う場合，分布する周波数帯に合わせてフォノン散乱機構を導入することが効果的である．高周波数のフォノンほど MFP が短く，それらの MFP と同程度の寸法の構造体を導入することが効率的な熱伝導率の低減につながり，累積熱伝導率に基づいた考え方で設計指針を立てることができる．図 3 は，Si における 300 K での累積熱伝導率と熱フォノンの MFP に対する分布を示したものである （Dechaumphai and Chen, 2012）．累積熱伝導率は横軸をフォノンの MFP に対してプロットされ，それ以下の MFP を持つフォノンによる熱伝導率への寄与率を足しあげたものである．図中の熱フォノン密度（青の破線）が高く，累積熱伝導率（赤線）が急激に立ち上がる 100 nm から 10μm 程度の MFP 領域が主な熱フォノンが分布する領域であり，散乱機構を導入すべきターゲットである．PnC ナノ構造によってバルク中では MFP が 100 nm 程度以上のフォノンモードを散乱することができるが，MFP が 100 nm 程度以下の熱フォノンには大きな影響がない．したがって，数十 nm の領域に分布する結晶粒径をもつ多結晶薄膜を用いれば，短い MFP をもつ熱フォノンを効率的に散乱することが有効であろう．定性的な議論ではあるが, MFP = 100 nm 程度を目安として散乱スケールの異なる粒界散乱と PnC ナノ構造による表面散乱によって広い MFP 領域に分布する熱フォノンをマルチスケールでカバーすると考えられる．図 4 は，LPCVD 法により成長したノンドープ多結晶 Si 表面の TEM 像とそれを解析した粒径分布図である．625 度で成長することにより狙いどおり粒径 100 nm 以下に広く分布する多結晶薄膜を成長できた．

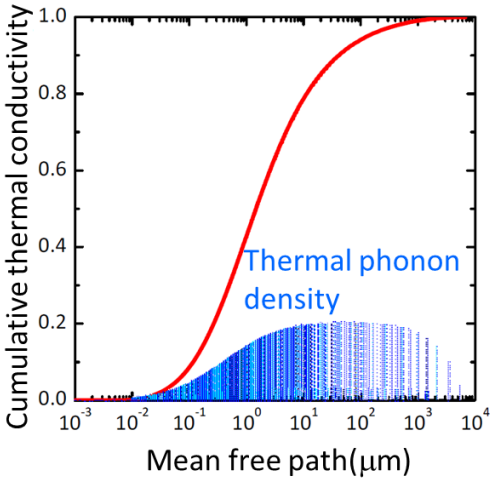


Fig. 3 Cumulative thermal conductivity plotted as a function of phonon MFP. Vertical broken lines represent thermal phonon density at each MFP.

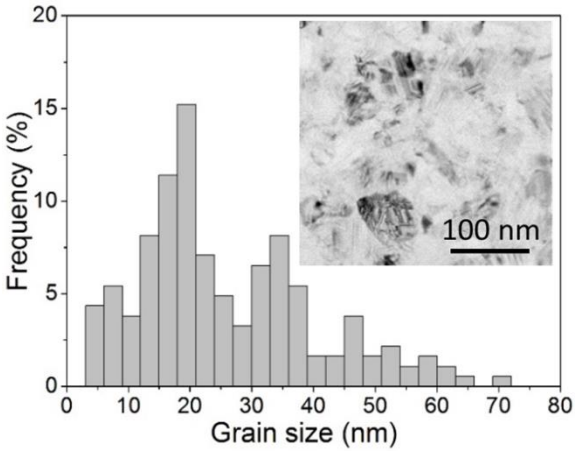


Fig. 4 Histogram of the grain size measured on the surface and TEM image of the sample (inset).

Si はバルクでは熱電変換材料として魅力的ではないが，環境負荷が低く豊富に存在し，マイクロエレクトロニクスと整合性がよいなどの利点からナノ構造化によって熱電変換能を飛躍的に向上させ熱電変換材料として応用する試みは数多い. 我々はドープした多結晶 Si 薄膜に PnC ナノ構造をパターニングすることで，どの程度の性能向上が可能かを調べた．熱電変換材料の性能指数 ZT は $S^2\sigma T/\kappa$で表される．ここで，S はゼーベック係数，σは電気伝導率，T は温度，κは熱伝導率である．図 5(a, b)は，それぞれ電気および熱伝導率を測定するために作製した 2D PnC ナノ構造の SEM 写真である．p 型および n 型のドーパントは B と P であり，キャリア濃度は約 2×10^{20} cm^{-3}

と 8×10^{20} cm^{-3}, 膜厚は 149 nm と 145 nm である. 詳しい成長条件は文献 16（Nomura, et al., 2015b）で述べられている．電気測定用の試料は SiO_2 上に 2D PnC ナノ構造を形成し，四端子測定法に用いる Al 電極を蒸着した．図 5(c, d)に，p 型および n 型の多結晶 Si 2D PnC ナノ構造の四端子測定法およびマイクロサーモリフレクタンス法（Nomura, et al., 2015c）で測定された電気伝導率と熱伝導率を示す．電気伝導率も熱伝導率と同様に円孔半径 *r* の増大とともに減少する傾向にあるが，熱伝導率と異なって減少率が緩やかであることと，薄膜値からの不連続な減少が見られないことがわかる．これは，電荷の MFP がフォノンのそれよりも一桁程度短く，PnC ナノ構造による表面散乱の影響が少ないためである．ゼーベック係数は，p 型，n 型試料についてそれぞれ 240 μV/K, -81μV/K であり（Moser, et al., 2012）, これらの値を用いて *ZT* の値を計算した結果を図 5(e)に示す．円孔の増大にともなって *ZT* の値は増加することがわかり，*r* = 110 nm の構造で，p 型は約 2 倍，n 型は約 4 倍の性能指数の増大がみられた．これは，本構造が電気伝導率に比べて熱伝導率を著しく低下させた結果であり, 電荷とフォノンの MFP の違いを際立たせる構造寸法であることを示している. 熱フォノンの MFP を考慮して PnC ナノ構造を導入することが ZT の増強に有効であることが定量的に示された初めての結果である（Nomura, et al., 2015b）.

熱電変換デバイスは，温度が外界と異なる物体表面に貼り付けて使用することが多いため，面に垂直な方向に電流と熱流が生じるような構成になる．しかし，紹介した構造では面内に電流と熱流が生じる構成となっているため，デバイスの作製には一工夫必要である．これまでに，CMOS および MEMS 技術を使って面内方向に温度差を生じさせる構造をウェハ上に作製し，約 10 K の温度差で 1μWcm^{-2} の発電が可能であることが報告されている（Strasser, et al., 2002）．Si は図 2(a)に示すように 900 度程度で最も性能を発揮する材料である．室温ではその 10%程度の性能でしかなく，BiTe などの最高性能を示す材料と比較した場合まだまだ物足りない．しかし，スマート社会化に貢献するワイヤレスセンサーネットワークの構築に必要なエネルギーハーベスタとしての応用を考えた場合マイクロセンサーの駆動に充分であり，1 日に数回程度駆動できれば十分な用途は数多くある．1 μWcm^{-2} 程度の発電量を有するこのデバイスはその要請に応えることができ，低環境負荷で安価であるため有用な熱電変換材料開発の選択肢の 1 つであると考えられる．

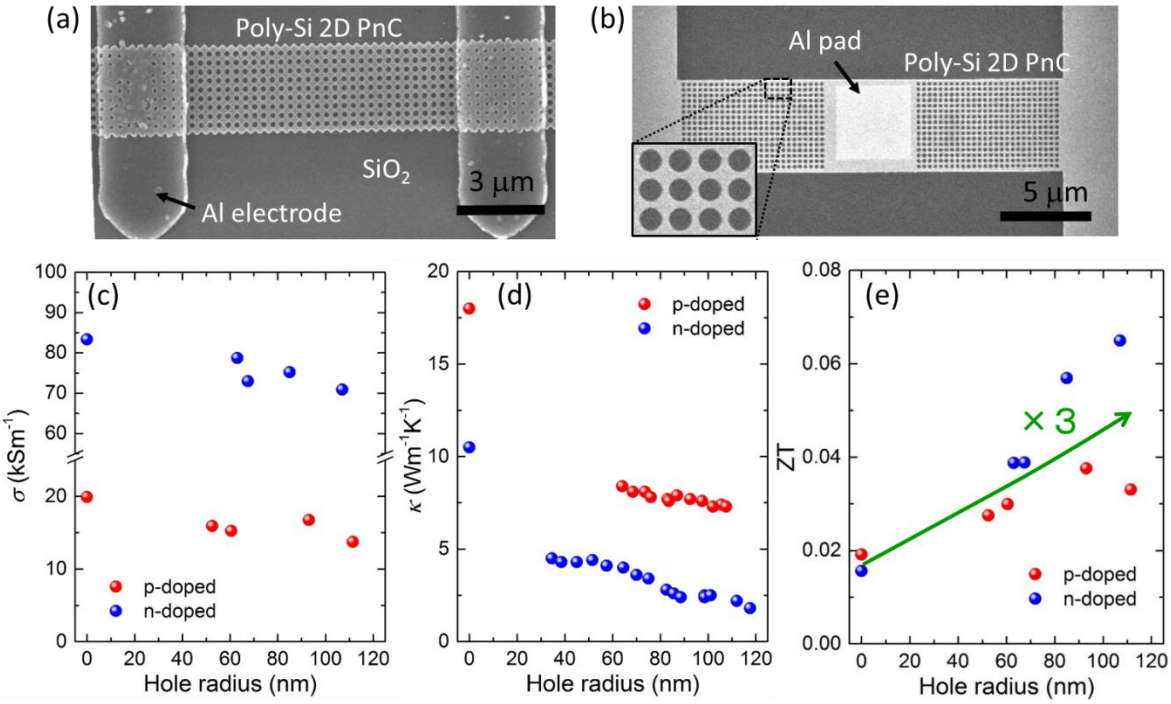


Fig. 5 SEM images of Si PnC nanostructures (period: *a* = 300 nm and *r* = 110 nm) for the four probe measurement (a) and micro-thermoreflectance method for thermal conductivity measurement (b). Measured electrical conductivities (c) and thermal conductivities (d), and calculated *ZT* values (e) for the p-doped (red) and n-doped (blue) polycrystalline Si PnC nanostructures with a variety of hole radii at 295 K. The nanostructuring enhanced the ZT value by a factor of 3.

４．熱フォノニクスの学理形成と応用への展望

フォノニクスは音波や弾性波の伝搬を取り扱う学問・技術であるが，熱フォノニクスは特に熱フォノンについてのそれであると定義する．室温付近での熱フォノンの波長は nm オーダーであるため，同程度の寸法の人工周期構造の作製が困難であることと，広い周波数分布をもつことから，熱フォノニクスについての研究はほとんど蓄積がないのが現状である．我々は，最も微細加工に適した Si 材料を選択し，理論・実験の両面から熱フォノニクスについての知見を蓄積している．比較的実験が容易な液体 He 温度まで冷却すれば，熱フォノンの波長は 100 nm 程度となるため，現在のナノ加工技術によって熱フォノニクスの遊び場を作ることができる．図 6(a)は，厚さ 145 nm の単結晶 Si 薄膜に a = 300 nm, r = 135 nm の正方格子をもつ 2D PnC ナノ構造を作製した試料の SEM 写真である．本構造に対して計算したフォノニックバンド図，状態密度スペクトルおよび熱流束スペクトルを計算した結果を図 6(b-e)に示す（Anufriev and Nomura, 2015）．人工周期構造の導入によって PnC のバンド図はバルク Si と大きく異なってくる．ブリルアンゾーンの運動量 k が小さいところに対称点が設けられるためバンドの折り返し効果（band-folding effect）が発生する．適切に設計するとモードが疎である基本振動モード周波数近傍に完全バンドギャップを開けることが可能で, 本構造では 10 GHz 程度に存在する. バンドギャップに含まれる周波数のフォノンは, 全ての方向について伝播が禁止される．高対称点近傍では群速度の低下がみられ，バンドエンジニアリングによるこれらのフォノン輸送特性の変化が熱流束に反映される．図 6(e)において，PnC ナノ構造（赤線）では円孔のない薄膜（灰色）と比べて明らかに低い熱流束を示すことがわかる．周波数が高くなるほど熱流束の違いは顕著になるため，高温では大きな熱伝導率の低減が可能になると期待される．しかし，実際は温度上昇によってインコヒーレントな散乱の頻度が増加してフォノンの MFP が短くなることや, 熱フォノンの波長が短くなることによって表面粗さに敏感になるなどの要因で波動性は薄れ，バンドの折り返し効果は消失する．フォノンの波動性に基づく熱輸送制御の概念は古くからあるが，熱フォノンの波長が極めて短いこと（室温では 1 nm 程度）や, その検出が非常に困難なため挑戦的なテーマであり続けてきた. しかし, 近年になって 100 mK 程度の極低温環境でその実現を示唆する報告がなされ（Zen, et al., 2014），我々は 4 K でさらに微細な PnC ナノ構造を作製し，その結晶性を操作することでフォノンの波動性に基づいた熱伝導率のチューニングに初めて成功するなど研究が進展している（Maire, et al., 2015）.

現在，全ての熱伝導制御はフォノンの粒子的描像で記述できる散乱機構によって行われているが，真の意味でのフォノンナノエンジニアリングは始まったばかりである．効果的な熱伝導制御を行うためには, 選択した材料の熱フォノンの MFP を考慮した材料･構造設計が必要ある. 今後, 微細化が進むにつれて波動性を用いた制御が有効な周波数領域は高くなり続けるため，将来はフォノンの粒子性と波動性の両者を用いたハイブリッド熱伝導制御技術が主流になると考えられる.

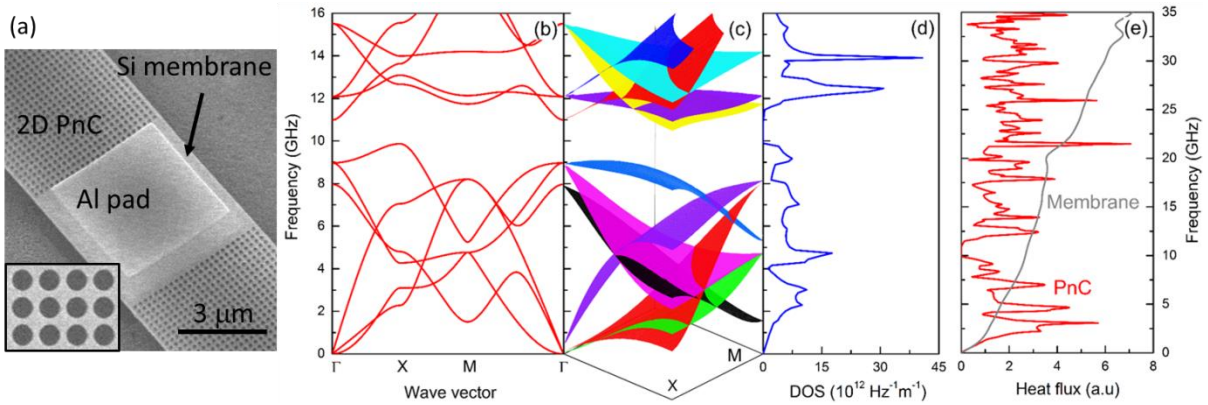


Fig. 6 (a) SEM image of the fabricated 2D PnC nanostructure. (b, c) Simulated phononic band structure for the PnC with a = 300 nm and r = 135 nm. (d) Calculated density of state spectrum. (e) Calculated heat flux spectrum for the PnC (red) and an unpatterned membrane (gray).

５．おわりに

人類は 18 世紀に熱，19 世紀に電気，20 世紀に光を高度に利用できるようになった．21 世紀は「光のように熱を扱う」ことが科学の重要テーマのひとつであり，エレクトロニクス社会の更なる発展につながると考えている．光学においては，波動工学が光の波動的性質を利用することで幾何光学よりもはるかに豊かな物理と高度な技術を提供したように，熱フォノニクスは熱マネジメントに進展をもたらす可能性を秘めているのではないかと期待している．

謝辞

本稿の内容は, 東京大学の Jeremie Maire, 鹿毛雄太, Roman Anufriev，フライブルク大学の Oliver Paul，Dominik Moser の各氏とともに行った研究である．また，東京大学の平川一彦氏と塩見淳一郎氏には有益な議論を頂戴し，荒川泰彦氏には技術的支援を頂戴し深く感謝申し上げる．本研究は，文部科学省イノベーションシステム整備事業，科学研究費補助金（25709090）（一財）生産技術研究奨励会および前田建設の支援により遂行された．

References

(1) Y. Arakawa and H. Sakaki: Appl. Phys. Lett. **24** (1982) 939.

(2) M. Nomura, N. Kumagai, S. Iwamoto, Y. Ota, and Y. Arakawa: Nat. Phys. **6** (2010) 279.

(3) J. Hone, B. Batlogg, Z. Benes and A. T. Johnson: Science **289** (2000) 1730.

(4) J. H. Seol, I. Jo, A.L. Moore, L. Lindsay, Z. H. Aitken, M. T. Pettes, X. Li, Z. Yao, R. Huang, D. Broido, N. Mingo, R. S. Ruoff and L. Shi: Science **328** (2010) 213.

(5) Narayanamurti: Phys. Rev. Lett. **43** (1979) 2012.

(6) D.M. Rowe, V.S. Shukla and N. Savvides: Nature **290** (1981) 765.

(7) J. Tang, H.-T. Wang, D. H. Lee, M. Fardy, Z. Huo, T.P. Russell and P. Yang: Nano Lett. **10** (2010) 4279.

(8) A. I. Hochbaum, R. Chen, R.D. Delgado, W. Liang, E.C. Garnett, M. Najarian, A. Majumdar and P. Yang: Nature **451** (2008) 163.

(9) J.-K. Yu, S. Mitrovic, D. Tham, J. Varghese and J.R. Heath: Nat. Nanotechnol. **5** (2010) 718.

(10) N. Zen, T. A. Puurtinen, T. J. Isotalo, S. Chaudhuri and I. J. Maasilta: Nat. Commun. **5** (2014) 1.

(11) M. Nomura, J. Nakagawa, Y. Kage, J. Maire, D. Moser and O. Paul: Appl. Phys. Lett. **106** (2015a) 143102.

(12) M. S. Dresselhaus, G. Chen, M. Y. Tang, R. G. Yang, H. Lee, D. Z. Wang, Z. F. Ren, J.-P. Fleurial and P. Gogna: Adv. Mater. **19** (2007) 1043.

(13) A. Minnich, M. S. Dresselhaus, Z. F. Ren and G. Chen: Energy Environ. Sci. **2** (2009) 466.

(14) M. Kashiwagi, S. Hirata, K. Harada, Y. Zheng, K. Miyazaki, M. Yahiro and C. Adachi: Appl. Phys. Lett. **98** (2011) 023114.

(15) E. Dechaumphai and R. Chen: J. Appl. Phys. **111** (2012) 073508.

(16) M. Nomura, Y. Kage, D. Mueller, D. Moser and O. Paul: Appl. Phys. Lett. **106** (2015b) 223106.

(17) M. Nomura, Y. Kage, J. Nakagawa, T. Hori, J. Maire J. Shiomi, R. Anufriev, D. Moser, and O. Paul, Phys. Rev. B **91**, 205422 (2015c).

(18) D. Moser, D. Ilkaya, D. Kopp and O. Paul: IEEE Sens. Conf. (2012) 989.

(19) M. Strasser, R. Aigner, M. Franosch and G. Wachutka: Sensors and Actuators A **98** (2002) 535.

(20) R. Anufriev and M. Nomura: Phys. Rev. B. **91** (2015) 245417.

(21) J. Maire, R. Anufriev, S. Volz and M. Nomura: (2015), arXiv:1508.04574, (*free pre-print server*).

2015 年度年次大会 熱工学部門報告

第 92 期熱工学部門年次大会委員会
委員長　田部　豊（北海道大学）
幹事　鈴木研悟（北海道大学）

日本機械学会 2015 年度年次大会が 9 月 13 日（日）～16 日（水）に亘り，「Be Ambitious!　～機械工学の新たな挑戦～」をキャッチフレーズに北海道大学札幌キャンパスで開催されました．まず 4 日間の会期の初日には，例年と同様に市民開放行事が行われ，種々のフォーラム企画に多くの方に参加して頂きました．

熱工学部門に関連した学術講演では，6 つのセッションからなる「熱工学一般セッション」において，32 件の講演が行われました．講演内容毎の内訳は，伝熱関連：24 件，燃焼関連：8 件であります．また，年次大会の大きな特色である「部門横断セッション」も，以下の通り数多く実施されました．

年次大会総合プログラム表紙

オーガナイズドセッション（7 件，講演数合計：92）

- **低炭素社会を支える超並列シミュレーション技術**（計算力学，材料力学，熱工学部門），セッション数：1，講演数：4
- **流れの高次元化可視化に向けて**（流体工学部門，動力エネルギーシステム部門，熱工学部門），セッション数：2，講演数：10
- **マイクロ・ナノスケールの熱流体現象**（流体工学部門，熱工学部門，マイクロ・ナノ工学部門），セッション数：3，講演数：19
- **乱流における運動量，熱，物質の輸送現象**（流体工学部門，熱工学部門），セッション数：4，講演数：17
- **燃料電池・二次電池とマイクロ・ナノ現象**（流体工学部門，熱工学部門，計算力学部門，動力エネルギーシステム部門，材料力学部門，マイクロ・ナノ工学部門），セッション数：2，講演数：10
- **電子情報機器，電子デバイスの強度・信頼性評価と熱制御**（熱工学部門，材料力学部門，計算力学部門），セッション数：2，講演数：10
- **医工学テクノロジーによる医療福祉機器開発**（医工学テクノロジー推進会議，機械力学・計測制御部門，バイオエンジニアリング部門，情報・知能・精密機器部門，計算力学部門，ロボティクス・メカトロニクス部門，流体工学部門，材料力学部門，熱工学部門，マイクロ・ナノ工学部門，機素潤滑設計部門），セッション数：4，講演数：22

先端技術フォーラム（1 件）

- **産学連携への期待**（計算力学部門，流体工学部門，熱工学部門，動力エネルギーシステム部門，機械力学・計測制御部門，ロボティクス・メカトロニクス部門）

熱工学部門では，例年通り熱工学部門に関連するご講演に対して「講演論文表彰」と「若手優秀講演フェロー賞」の審査を評価フォームによる採点により行いました．審査を行う際に，多くの先生方にご協力をお願い致しました．この場を借りまして御礼申し上げます．

部門同好会は，熱工学部門単独で 14 日夕方に札幌駅近くの居酒屋で開催されました．19 名の参加を頂きました．本務のためご欠席となった部門長の高松洋先生に代り，元部門長の高田保之先生から開会のご挨拶，元機械学会長の佐藤順一氏から乾杯の音頭，最後に元部門長の近久武美先生から閉会の言葉を頂戴し，くつろいだ雰囲気の中，大変盛況でありました．

最後になりましたが，今年度の年次大会の企画･運営にご尽力いただきましたオーガナイザー，講演者，座長の皆様に厚く御礼申し上げます．2016 年度に福岡で開催される次回の年次大会と部門同好会では，さらに多くの皆様のご参加を賜り，研究交流と親睦を深めて頂けますよう祈念致します．

熱工学コンファレンス 2015 開催報告

実行委員会 委員長　大阪大学 赤松史光

今年度の熱工学コンファレンスは，国立大学法人大阪大学との共催で大阪大学 吹田キャンパスのコンベンションセンター（写真1）にて，平成27年10月24日（土）と25日（日）の2日間にわたって開催されました．学術講演227件，参加登録者460名と，多くの皆様にご参加いただき，懇親会登録参加者も154名と大盛況のうちに終えることができました．ご参加いただきました皆様方には，心よりお礼申し上げます．

写真 1 大阪大学コンベンションセンター

写真 2 講演室の様子

写真 3 コンベンションセンターMO ホール

本コンファレンスでは，オーガナイザーの皆様のご尽力により，14 のオーガナイズドセッション（OS）を企画することができました．あらためまして深く御礼申し上げます．今年度はパラレルセッション数を減らして，より多くの方の聴講を可能とし議論の活発化をはかることを目的として，講演室数を従来の 9 室から 1 室減らして 8 室とさせていただきました．いずれの講演室も盛況で，活発な議論がなされておりました（写真 2）．セッションをまとめていただきました座長の皆様に，あらためまして御礼申し上げます．また，今回の熱工学コンファレンスでは，新しい試みとして，機器展示を開催させていただきました．機器展示にご協力いただきました西華デジタルイメージ株式会社ならびに日本カノマックス株式会社のご関係の皆様に心より感謝申し上げます．

第 1 日目の午後のセッション終了後，大阪大学コンベンションセンターのMOホール（写真3）にて部門賞・一般表彰贈呈式がとり行なわれ，引き続き，永年功績賞を受賞された森 康彦先生から受賞者を代表してご挨拶をいただきました（写真4）．その後，マツダ株式会社 常務執行役員 人見光夫様より，「SKYACTIV 開発と今後の展望」と題した特別講演をいただきました（写真5）．

夕方より，大阪大学 吹田キャンパスのレストランラ・シェーナで開催された懇親会（写真6）では，実行委員長の赤松からご挨拶をさせていただいた後，大阪大学工学部長・大学院工学研究科長の田中敏宏先生からウェルカムスピーチをいただき（写真7），熱工学部門長の九州大学高松 洋先生からご挨拶と乾杯のご発声をいただきました（写真8）．懇親会では，”くいだおれの街 大阪”の地場の食材を取り入れた料理と地酒をご賞味いただけたと存じます．また懇親会の中頃には，熱工学コンファレンス実行委員会

写真 4 永年功績賞を受賞された森 康彦先生

写真 5 マツダ㈱人見光夫様の特別講演

写真 6 レストランラ・シェーナでの懇親会

写真 7 大阪大学工学部長 田中敏宏先生

顧問の関西大学 小澤 守先生からスピーチをいただいた（写真9）後に，関西大学ジャグリングサークル“ジャグりま専科？”のメンバーによる華麗な美技（写真10）が披露され，楽しい時間を演出していただきました．その後，次期コンファレンス実行委員長の愛媛大学 野村信福先生より，来年度の熱工学コンファレンス2016の開催案内をいただきました（写真11）．最後に，大阪大学 名誉教授の高城敏美先生，香月正司先生からお言葉をいただき（写真12），次期熱工学部門長の東京工業大学 花村克悟先生に中締めのご挨拶をいただいて（写真13），懇親会を閉会とさせていただきました．

関西では学会の会議は京都と神戸に集中するために，大阪にお越しいただく機会は多くないかと存じます．ここ大阪での熱工学コンファレンスの開催を決定していただきました日本機械学会 熱工学部門長 九州大学 高松 洋先生をはじめとする熱工学部門 運営委員会の皆様に，あらためまして感謝申し上げます．

大阪大学 吹田キャンパスに隣接している万博記念公園は，1970 年に開催された「日本万国博覧会」の成功を記念して，その跡地は「緑に包まれた文化公園」として整備され，「日本庭園」，「自然文化園」，「サッカーJリーグ 大阪ガンバスタジアム」等のスポーツ・レジャー施設を有しています．また，2009 年2月に閉園した遊園地「エキスポランド」跡地では，現在，再開発工事がほぼ完了し，2015年11月19日には，水族館，大観覧車，ショッピングモールが建ち並ぶ大型エンターテインメント複合施設「EXPOCITY」として，大阪の主要な観光スポットとなります．来年度2016年度の伝熱シンポジウムも大阪で開催されますので，この機会に是非とも，「EXPOCITY」にお越しいただけますようお願い申し上げます．

本コンファレンスを実施するにあたり，前年度の熱工学コンファレンス 実行委員長 芝浦工業大学 山田 純先生ならびに幹事 芝浦工業大学 丹下 学先生からは，開催に関する貴重なアドバイスと詳細な資料をお送りいただきました．また，日本機械学会 出版・販売グループの小倉辰徳様，総務グループの大通千晴様には，コンファレンスで使用する備品などの準備と送付，参加登録の受付業務，運営に関する助言など，様々な面においてご支援をいただきました．また，関西大学 小田 豊先生からは，本開催報告に掲載させていただいた写真のご提供をいただきました．この場を借りて厚く御礼申し上げます．

写真 8 熱工学部門長 九州大学 高松 洋先生

写真 9 実行委員会顧問 関西大学 小澤 守先生

写真 10 懇親会での催し物 ジャグリング

写真 11 熱工学コンファレンス 2016
実行委員会委員長 愛媛大学 野村信福先生

最後に，熱工学コンファレンス2015実行委員会 幹事の重責をご担当いただきました大阪大学 津島将司先生，講演プログラムの取り纏めをいただきました大阪大学 鈴木崇弘先生，中塚記章先生，会場担当の取り纏めをいただきました大阪大学 芝原正彦先生，植木祥高先生，特別講演を企画いただきました大阪府立大学 瀬川大資先生，学生アルバイトの取り纏めならびに懇親会の催し物を企画いただきました関西大学 松本亮介先生，機器展示の企画をいただきました大阪大学 林潤先生をはじめとする実行委員の皆様，ならびに，会場担当をいただきました関西大学ならびに大阪大学の学生の皆様に心より御礼を申し上げます.

講演会のデータ
・開催日：2015 年 10 月 24 日（土），25 日（日）
・会場：大阪大学吹田キャンパス コンベンションセンター
・発表件数：227　・参加者総数：460（内学生数：182）　・オーガナイズドセッション数：14
・2015 熱工学コンファレンス HP　http://www.jsme.or.jp/conference/tedconf15/

写真 12 大阪大学名誉教授 高城敏美先生
香月正司先生からのご挨拶

写真 13 次期熱工学部門長 東京工業大学
花村克悟先生からのご挨拶

熱工学コンファレンス・プレコンファレンスワークショップ開催報告

第 92 期熱工学部門講習会委員会
委員長　西村伸也（大阪市立大学）
幹事　小田　豊（関西大学）

当熱工学部門で２年前に「熱工学ワークショップ」と「熱工学コンファレンス・プレセミナー」を統合して新たに企画された「熱工学コンファレンス・プレコンファレンスワークショップ」の第３回目を，平成 27 年 10 月 23 日（金）と 24 日（土）の両日にわたり，大阪府高槻市の山中にある関西大学高岳館において一泊二日の合宿形式にて開催いたしました．本ワークショップは熱工学コンファレンスの参加者を主な対象として学会前日に開催されることから「熱工学」に関するホットな話題を提供するとともに，活発な議論や意見交換の場を通して，部門の活性化と参加者同士の交流を図ることを目的としております．本年度のワークショップでは，大阪府の名勝として知られる摂津峡にもほど近い，丘陵地の自然環境に囲まれた雰囲気の中で，「バイオマスを中心とした再生可能エネルギー」をテーマに掲げ，各分野でご活躍の 3 名の講師の先生方をお招きし，下記の題目にてご講演いただきました（以下ご発表順）．

・井田 民男 氏（近畿大学）:「次世代バイオ・リサイクル燃料：バイオコークスについて」
・山根 浩二 氏（滋賀県立大学）:「ドロップインバイオ燃料の現状と可能性」
・中尾 正喜 氏（大阪市立大学）:「下水熱利用の動向と展望」

今回のワークショップでは今後ますます重要性を増すであろう再生可能エネルギーのなかでも特にバイオマスに着目し，各講師の先生方には物質の三態である固体・液体・気体それぞれのバイオマス由来燃料について話題提供をして頂きました．

最初のご講演は，近畿大学の井田民男先生から，次世代バイオ・リサイクル燃料として注目されているバイオコークスに関するご講演をいただきました．バイオコークスはほぼ全ての光合成由来バイオマスから製造可能な新しい国産の固形燃料であり，製鉄・鋳造炉で使用される石炭コークスの一部を代替することで CO_2 の排出抑制や化石燃料依存の緩和に資する新しい国産エネルギーです．開発者である井田先生には，バイオコークスの開発秘話や製造方法における工夫，海外展開を含めた現状と今後の展望について写真や経験談を織り交ぜながら分かり易く解説して頂きました．なかでも印象に残ったのは製造時の温度レベルについて当初は高温ばかり試していたのを，思い切って低温側に振ると成功したというお話です．翌日の人見氏（マツダ株式会社）の特別講演での「パラメータは大きく振る」のお話とも通じるものがあると感じました．

続いて，滋賀県立大学の山根浩二先生からは，ドロップインバイオ燃料の現状と将来展望についてご講演頂きました．ドロップインバイオ燃料とは，既存の石油由来燃料であるガソリン，ディーゼル油，ジェット燃料と本質的に等価な機能を持つ炭化水素燃料であり，既存のインフラで「そのまま（drop-in）」使用できる燃料のことを指します．ご講演では石油系燃料とバイオ系燃料の性状の違いや製造過程についてご説明頂くとともに，特に最近注目されている微細藻類からのドロップインバイオ燃料の生産について，各種の微細藻類の性質や用途，培養方法や製造コスト，海外企業の取り組み（石油メジャーとベンチャーの提携など），日本における現状と課題などを初心者にも分かり易くご説明頂きました．なかでも微細藻類の培養において収穫直前に飢餓ストレスを加えると油分生産量が増すという面白い結果は参加者の興味を引いていました．

最後に，大阪市立大学の中尾正喜先生より，下水熱利用の動向と展望についてご講演を頂きました．日本の下水熱利用は殆どが処理水の熱利用であり，利用箇所が処理場周辺に限定されているが，今後は下水管内を流れる未処理水（真冬でも 17℃以上）を対象にした簡易・低コストな熱回収法が必要とのことで，海外（特にスイス）で見られる熱交換器を組み込んだ下水管の紹介など熱工学の観点からも興味深い内容でした．未処理下水による熱交換では生物膜の成長により熱

通過率の劣化が問題になり，温度や地域特性の違いからも影響を受けることなど，下水熱用の熱交換器に特有の課題などが示されました．また，都市部での下水熱利用を推進するツールとして下水熱ポテンシャルマップの整備が進められているなど，下水熱の有効利用に向けた方策と展望について分かり易くお話頂きました．

いずれのご講演でも CO_2 の排出抑制や省資源に資するバイオマスエネルギーの最新動向について分かり易く説明して頂き，参加者にとって大変興味深いものでした．それぞれの講演後の質疑では，参加者から多数の質問が上がっており，講師の先生方の丁寧なご講演のおかげもあり，とても理解しやすく，また興味を持って聞くことができたことの現れだと思われます．

講演会終了後は立食形式での夕食となりましたが，講師の先生方にもご参加頂くことができ，参加者同士の交流を深めるだけでなく，講演中に聞くことができなかった点を含めて有意義な議論がなされていました．なお，今回のワークショップでは主に大学のクラブ・サークル合宿やゼミ旅行等に利用される大学セミナーハウスを会場として利用したため，利用規約上の制約が多くあり，夕食は学内の生協施設で取りました．このため，参加者の皆様には山間部の傾斜地に位置する広大なキャンパス内を 10～15 分ほど徒歩で移動（というより登山）して頂くことになりましたが，季節や天候，美しい夜景（あるいは皆様の寛大なお心）にも恵まれて，大きな不満は（講習会委員の耳には）聞こえてこず，胸を撫で下ろす場面もありました．夕食後は本企画の恒例になりつつある技術交流会を和室にて開催しました．今回は若手の参加者も多く，参加者全員の自己紹介で大いに盛り上がりつつ互いに交流を深めることができました．

最後に，今回のプレコンファレンスワークショップでは，ご講演を頂いた 3 名の講師の先生方をはじめ，高松洋先生（熱工学部門長），中部主敬先生（前部門長），齊藤卓志先生（部門幹事），保浦知也先生（総務幹事），小倉辰徳様（日本機械学会熱工学部門担当），そしてご参加を頂いた皆様より，多大なご支援とご協力をいただき，大変有意義なイベントとして盛会のうちに終えることができました．至らない点も多々あったかと思いますが，この場をお借りして，ご参加いただいた 23 名の皆様に心より感謝申し上げます．

井田先生

山根先生

中尾先生

プレコンファレンス会場の様子

集合写真

第 92 期（2014 年度）熱工学部門賞・部門一般表彰報告

2014 年度部門賞委員会委員長
高松 洋（九州大学）

熱工学部門では，第 92 期 （2014 年度）の部門賞・部門一般表彰について以下のように決定し，熱工学コンファレンス 2015（大阪大学）において贈呈しました．受賞者の方々は，本部門の「部門賞および部門一般表彰規程」により運営委員会構成員ならびに本部門登録会員に候補者を募り，部門賞委員会において部門賞 5 名・部門一般表彰 9 名を選考し，運営委員会の審議を経て決定されました．また，贈呈式では，第 92 期 （2014 年度）に本部門より若手優秀講演フェロー賞を受賞された以下 2 名の方々の紹介も行いました．

熱工学部門賞

功績賞（永年功績賞）
森　康彦　氏

贈賞理由：国内外の熱工学，とりわけ直接接触伝熱とその界面物理化学，およびクラスレート水和物の生成と多相ダイナミクスに関する研究など，永年にわたる熱工学への貢献が顕著である．

略歴：

1969　慶應義塾大学理工学部機械工学科 卒業
1971　慶應義塾大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程 修了
1974　慶應義塾大学大学院理工学研究科機械工学専攻博士課程 修了 工学博士
1974　慶應義塾大学助手（工学部機械工学科）
1981　同 専任講師（理工学部機械工学科）
1983　同 助教授（理工学部機械工学科）
1990　同 教授（理工学部機械工学科）
2012　慶應義塾大学 名誉教授

功績賞（国際功績賞）
吉田　英生　氏

贈賞理由：熱工学に関する多数の国際論文誌の Editor や国際会議の委員を務めることによる熱工学分野への貢献が多大である．とりわけ 2014 年に開催された第 15 回国際伝熱会議 （IHTC -15）を実行委員長として成功に導いた業績は顕著である．

略歴：

1978　東京工業大学工学部機械物理工学科卒業
1983　東京工業大学大学院理工学研究科機械物理工学専攻 博士課程修了（工学博士）
1983　東京工業大学工学部助手
1990　東京工業大学工学部助教授
1999　京都大学大学院工学研究科教授

功績賞（研究功績賞）
大田　治彦　氏

贈賞理由:国内外の熱工学，とりわけ微小重力環境下での沸騰熱伝達の研究および国際宇宙ステーションによる宇宙環境を利用した国際協力プロジェクトなど，熱工学研究の発展に貢献した功績が顕著である．

略歴：

1976　九州大学工学部機械工学科 卒業
1978　九州大学大学院工学研究科機械工学専攻 修士課程修了
1981　九州大学大学院工学研究科機械工学専攻 博士後期課程 単位取得退学
1981　九州大学工学部機械工学科 講師
1983　九州大学工学部機械工学科 助教授
（1990～1991　ミュンヘン工科大学 訪問研究員）
1999　九州大学大学院工学研究科航空宇宙工学専攻 教授
2000　九州大学大学院工学研究院航空宇宙工学部門 教授

業績賞
山田　純　氏

贈賞理由:熱工学，とりわけふく射伝熱とナノスケール構造面のふく射性質およびその応用に関する研究業績が顕著である．

略歴：

1982　東京工業大学生産機械工学科 卒業
1982　ヤマハ発動機株式会社 入社
1986　東京工業大学大学院生産機械工学専攻修士課程 修了
1988　東京工業大学大学院生産機械工学専攻博士後期課程 中退
1988　東京工業大学助手
1994　博士（工学）東京工業大学
1995　山梨大学助教授
（2001～2002　ケンタッキー大学客員准教授）
2005　芝浦工業大学教授

功績賞（技術功績賞）
山田　明　氏

贈賞理由:国内外の熱工学，とりわけ超臨界圧変圧運転ボイラ用新型伝熱管などのエネルギー変換システムに関する熱技術や人工衛星用姿勢制御装置の熱設計など，熱工学技術の発展に貢献した功績が顕著である．

略歴：

1978　九州大学工学部機械工学科 卒業
1980　九州大学大学院工学研究科機械工学専攻 修士課程 修了
1983　九州大学大学院工学研究科動力機械工学専攻博士後期課程 単位取得認定退学
1983　三菱重工業株式会社入社
1990　米国パデュー大学客員研究員（1 年間）
2003　三菱重工業株式会社先進技術研究所次長
2005　三菱重工業株式会社長崎研究所次長
2008　三菱重工業株式会社本社知的財産部部長
2011　三菱重工業株式会社長崎研究所主幹

部門一般表彰

貢献表彰

中別府　修　氏（明治大学）

贈賞理由:熱工学，とりわけ MEMS 熱型センサを用いたミクロ熱工学分野への貢献，ならびに熱工学部門活動に対する貢献が顕著である．

津島　将司　氏（大阪大学）

贈賞理由:熱工学，とりわけ電気化学エネルギー変換デバイスに関する熱工学分野への貢献，ならびに熱工学部門活動に対する貢献が顕著である．

講演論文表彰

論文題目「分子動力学シミュレーションによる超微小気泡群の成長機構の評価」
津田 伸一（九州大学），田中 亮太（信州大学）

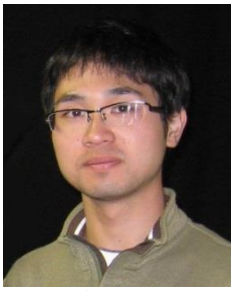
津田 氏

田中 氏

贈賞理由：本論文は，超微小気泡群の生成―成長機構を MD シミュレーションと半理論解析に基づいて明らかにした内容であり，その研究アプローチは萌芽性・独創性が高く，この分野の進展に重要な貢献をするものと考えられる．

論文題目「ガソリンの壁面付着に伴うすす生成の数値解析」
橋本 淳（大分大学），南野 由登（大分大学），高橋 大樹（大分大学），田上 公俊（大分大学），森吉 泰生（千葉大学）

橋本 氏



南野 氏

高橋 氏

田上 氏

森吉 氏

贈賞理由：本論文は，壁面付着燃料液膜の燃焼および PM 排出特性について詳細反応を考慮した数値解析により明らかにした内容であり，その研究アプローチは萌芽性・独創性が高く，この分野の進展に重要な貢献をするものと考えられる．

若手優秀講演フェロー賞

論文題目「PEFC カソード側 MPL の微細構造が液水輸送と発電特性に及ぼす影響」

奥畑 剛 氏（京都工芸繊維大学）

贈賞理由：本講演は，PEFC カソード側 MPL の微細構造が液水輸送と発電特性に及ぼす影響を明らかにした研究として，その内容が優れていると同時に，発表方法に創意工夫がみられ，質疑に対する応答も的確であった．講演者の能力と努力は敬意に値するものであり，今後の活躍に期待が持てる．

論文題目「撥水斑点上のサブクール沸騰気泡の成長におよぼす溶存空気の影響」

山田 将之 氏（九州大学）

贈賞理由：本講演は，撥水斑点上のサブクール沸騰気泡の成長におよぼす溶存空気の影響を明らかにした研究として，その内容が優れていると同時に，発表方法に創意工夫がみられ，質疑に対する応答も的確であった．講演者の能力と努力は敬意に値するものであり，今後の活躍に期待が持てる．

第 92 期（2014 年度）熱工学部門賞・部門一般表彰贈呈式 受賞者記念撮影

行事案内

部門企画行事案内

ー2017 年度ー

●The 9th JSME-KSME Thermal and Fluids Engineering Conference (TFEC9)
開催日: 2017 年 10 月 28 日(土)～30 日(月)
場　所: Okinawa Convention Center, Okinawa, Japan

ー2016 年度ー

●熱工学コンファレンス 2016
開催日: 2016 年 10 月 22 日(土), 23 日(日)
場　所: 愛媛大学

●日本機械学会 2016 年度年次大会
開催日: 2016 年 9 月 11 日(日)～14 日(水)
場　所: 九州大学 伊都キャンパス

ー2015 年度ー

●The First Pacific Rim Thermal Engineering Conference (PRTEC2016)
開催日: 2016 年 3 月 13 日(日)～17 日(木)
場　所: Waikoloa Beach Marriott Resort & Spa, Hawaii, USA
問い合わせ先: JSME 側組織委員長　高田保之，幹事　店橋護

部門関連行事案内（国内）

ー2016 年度ー

●第 53 回日本伝熱シンポジウム
開催日: 2016 年 5 月 24 日(火)～26 日(木)
場　所: 大阪国際会議場（グランキューブ大阪），大阪府大阪市
主　催: 日本伝熱学会

ー2015 年度ー

●第 26 回内燃機関シンポジウム
開催日: 2015 年 12 月 8 日(火)～10 日(木)
場　所: 京都テルサ，京都府京都市
主　催: 日本自動車技術会

国際会議案内

ー2016 年度ー

●The 4th International Forum on Heat Transfer（IFHT2016）
開催日：2016 年 11 月 2 日(水)～4 日(金)
開催地：Sendai International Center, Sendai, JAPAN

●The 27th International Symposium on Transport Phenomena (ISTP-27)
開催日：2016 年 9 月 20 日(火)～9 月 23 日(金)
開催地：Hawaii Convention Center, Honolulu, USA

●The 11th Asian Thermophysical Properties Conference（ATPC2016）
開催日：2016 年 10 月 2 日(日)～6 日(木)
開催地：Pacifico YOKOHAMA Annex Hall, Yokohama, JAPAN

その他

編集後記

今回の TED Plaza 77 号では，北海道大学 脇田督司先生にデトネーションを利用した推進機関であるパルスデトネーションエンジン（PDE）に用いる大口径 PDE 用イニシエータのご研究をご紹介頂き，東京大学 野村政宏先生にナノ構造において特徴的となるフォノン輸送に着目した熱フォノニクスによる熱伝導制御のご研究をご紹介頂きました．読者の方には本記事により未だ未解明な部分が残され今後の発展と新たな分野への応用が期待されるデトネーションとフォノニクスの分野の可能性を感じて頂ければ幸いです．この度は，お忙しい中 TED Plaza への執筆を快くお引き受けいただきました脇田先生，野村先生には厚く御礼申し上げます．

末筆となりましたが，第 92 期（2014 年度）熱工学部門賞・部門一般表彰を受賞された皆様の栄えある受賞を心からお祝い申し上げますとともに，2015 年度年次大会，熱工学コンファレンス 2015 を成功裏に収められた関係者の皆様のご尽力に敬意を表します．

（編集担当委員：上野・片岡・永野）

第 93 期広報委員会

委員長：	染矢 聡	（産業技術総合研究所）
幹 事：	朝原 誠	（青山学院大学）
委 員：	寺岡 喜和	（金沢大学）
	山田 俊輔	（防衛大学校）
	片岡 秀文	（大阪府立大学）
	田中 三郎	（日本大学）
	永野 幸秀	（九州大学）
	宮田 一司	（九州大学）
	上野 藍	（東京大学）

©著作権：2015　一般社団法人　日本機械学会　熱工学部門