キャパシタフォーラム

エネルギーと電力基礎講座

木下　繁則

第3回　(2020-1-24)

身の回りのエネルギー

エネルギーと電力基礎講座シリーズ

基礎講座 (開催日)	基礎講座のテーマ	主な内容	備考
第1回 (2019-8-23)	エネルギーと電力の基礎	・講座の目的、狙い ・「エネルギー」と「電力」の定義 ・エネルギーの基礎	
第2回 (2019-12-20)	電力の特徴と電力ネットワーク	・電力の基礎 電機エネルギーの流れ 電力の特徴と電力ネートワーク	
第3回 (2020-1-24)	身の回りのエネルギー	・熱エネルギー（熱電素子） ・太陽光エネルギー（太陽電池） ・バイオマス、エネルギーハーベスティング ・熱音響機関	
第4回 (2020-2-21)	電力技術による省エネルギーと電力分野へのキャパシタ活用の期待	・再生エネルギーの有効活用 ・電力平準化、電力ピークカット、電力回生 ・移動体の省エネ、電車、自動車、エレベータの回生 ・大電力の繰り返し充放電、サイクル劣化なし、ゼロ電圧保守等の特徴を活かす応用分野の期待と応用分野の探求。	

自然界のエネルギー

ものづくり工場

材料とエネルギーを消費してものを生産 → ものに変換されたエネルギー以外は熱として大気に放出。

人の活動社会

エネルギーを消費して生活 → 大部分が熱として大気に放出。

温暖化抑制、省エネルギーから熱の回収、リサイクル技術確立が急務

身の周りのエネルギー

エネルギー源	具体例	単位面積当たりのエネルギー量
振動	人の動作，機械，橋梁，建築物など	10^{-4}～10^{-3} W/cm^2
光	直射日光	10^{-1} W/cm^2
	照明，室内日光など	10^{-4} W/cm^2
熱	体温，車の廃熱など	10^{-5} W/cm^2
電磁波	放送波，無線LANの電波など	10^{-6} W/cm^2

環境発電

身の回りの環境から活用されていない希薄なエネルギーを集めて発電する“環境発電“で、微小なエネルギーを「収穫」（ハーベスト）して発電することから”エネルギーハーベスティング”と呼ばれている。

身の回りの環境のエネルギー源と発電デバイス

光：太陽電池

熱（温度差）：熱電素子

音：熱音響デバイス

振動：圧電素子

エネルギーハーベスティングとは？

列車通過時の振動や空中を飛ぶ電波など、身の回りで活用されていない希薄なエネルギーを集めて発電する「環境発電」の研究が加速しています。この技術は、環境から微小なエネルギーを収穫(ハーベスト)して電力に変換することから、「エネルギーハーベスティング」とも呼ばれます。

使われるのは、光・熱(温度差)・音・振動・電波など、環境中にさまざまな形で存在するエネルギー。これらを圧電素子や太陽電池を利用して電力に変換する発電技術で、配線や充電・取り替え・燃料補給が要らず、長期間エネルギー供給できる電源であることが大きな利点です。

「エネルギーハーベスティング」の技術自体は、実は昔からあったもの。電波のエネルギーで音を出す「鉱石ラジオ」はその最も古い例のひとつ。1970年代に登場した太陽光や腕の動きで充電する腕時計や電卓なども、電池交換が不要なエネルギーハーベスティング電源を内蔵したモバイル機器です。

現在では、太陽電池を内蔵した携帯電話やネットブック、電子ブックリーダー、外付けの充電器など多くのエネルギーハーベスティング製品が販売されています。

とりわけいま、身の回りのさまざまな機器がネットにつながる　“IOT(モノのインターネット)”の概念が登場したことで、エネルギーハーベスティングへの注目がにわかに高まっています。あらゆるモノをインターネットに接続し情報を活用するためには、全てのモノに無線センサーが必要で、その電源として「エネルギーハーベスティング」が有望視されているからです。

出展：丸本鋼材（株）http://www.m-kou.co.jp/wp/2018/01/26/微小な音や振動を集めて発電する「エネルギーハ/

2020-1-24
木下　繁則

振動発電

振動発電とは

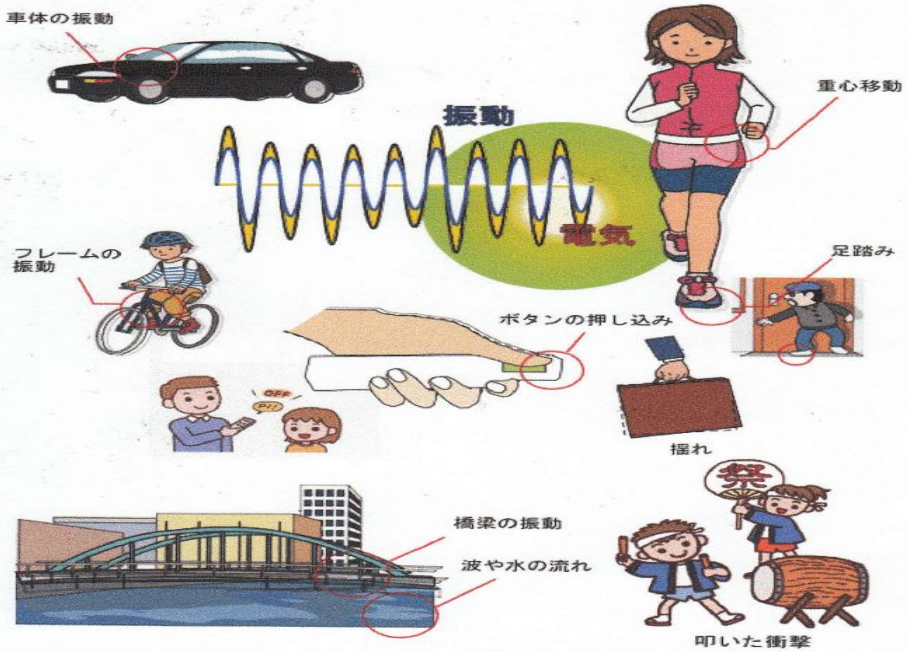
振動からエネルギーを作り出す画期的な技術です。

どのような振動や動きで発電できるの？

自動車や鉄道の振動　☆☆
生産機械や工作機械の振動　☆☆
橋の振動，揺れ　☆☆
押す，引くなどの動作　☆
ボールがぶつかるなど物体の衝撃　☆
波や水流，風　☆☆
揺れ，重心移動　☆☆☆
（☆　難易度）

何ができるの？

LEDの点滅による注意喚起（安全）
（by 靴，道路，床踏み発電）
電池不要の無線センサ予兆保全（安心，省力化）
（by 工場機械，設備の振動発電）
電池の不要リモコン，病院，飲食店の呼び出し（便利）
（by ボタンを押す動き発電）
出入り通知（見守り，効率利用）
（by ドア動き発電）
衝撃や叩くと光る玩具や杖（安全，エンターテイメント）
（by 衝撃発電）
物体の衝撃通知システム（防犯，救助の迅速化）
（by 衝撃発電）
ほか　多数



発電に利用できる振動や動き

電池を使わないメリット

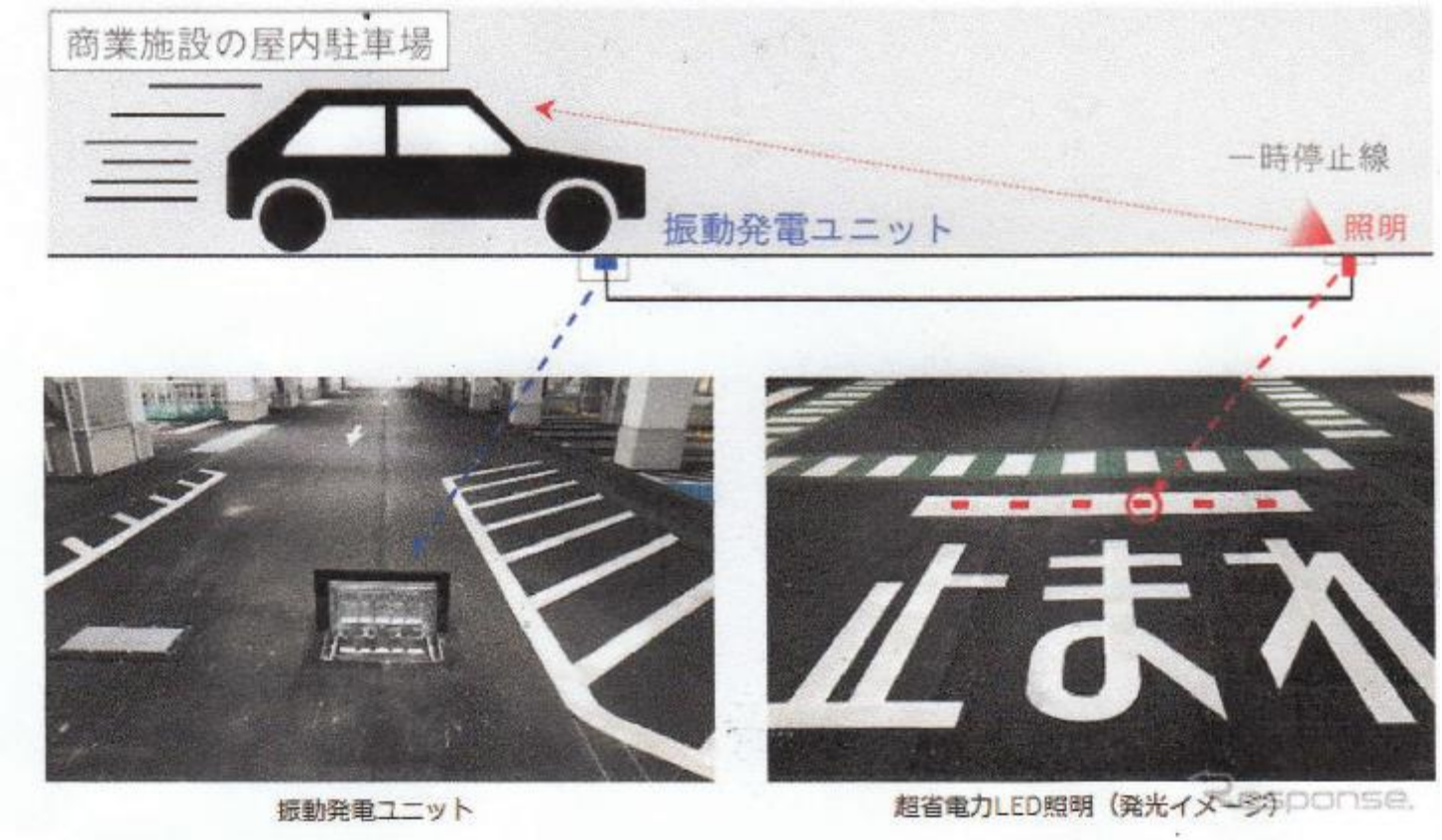
電池を交換するのは手間です。
廃棄処理するのも面倒です。
電池切れの心配があります。
以上を気にする必要がありません。1個2個ならまだしも，10個100個となると馬鹿になりません。
防水が不要。

従来の振動発電

圧電式…力を加えると電圧を発生する圧電セラミックスを利用します。簡単に電圧は出ますが，電気抵抗が大きく電流を取り出すのに不向きです。材料が硬く脆いため，引張りや衝撃に弱いです。

出展:金沢大学　振動発電研究室　発行資料

振動発電応用事例


商業施設の屋内駐車場
一時停止線
振動発電ユニット
照明
止まれ
振動発電ユニット
超省電力LED照明（発光イメージ）

熱とは？

“熱”とは？

物体に出入りしてその温度を変化させるエネルギー。
例えば、温度の異なる2つの物体を接触させ、高温物体が冷えて低温物体が温まるとき、高温物体から低温物体へ移るエネルギーが熱です。

“熱力学”とは？

熱はエネルギーの一種であり、“熱を力学的エネルギーに変換する”ことを研究する学問です。

熱力学では、現在三つの法則が確立されています。

熱力学の三つの法則

第一法則　“エネルギーの保存の法則”

“物体に与えた熱量をQ[J] ,加えた仕事をW[J]とすると、物体の内部エネルギーの増加分ΔUは、ΔU=Q＋W 。

第二法則　“熱の不可逆現象の法則”

“熱は熱い物から冷たい物へは移動するが、その逆は成立しない。”

この第二法則は“一旦、大気に放出された熱を直接回収することは出来ない。”ことを示しています。即ち、回収するのには“熱エネルギーを別のエネルギーに変換して回収しなければならない。”ことを示しています。

第三法則　“絶対零度ではどんな物質のエントロピーも零になる”

“エントロピー“の話

エントロピーとは？

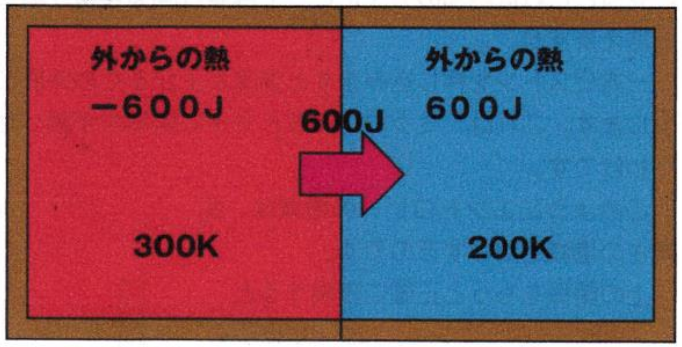
秩序のある状態から無秩序な状態を区別する指標となるのが**エントロピー**です。熱力学では、熱によるエントロピーの変化は、外部から吸収した熱を絶対温度で割ったもので定義します。つまり、

熱によるエントロピーの増加＝外部からの熱 / 絶対温度

です。

こんな定義でどうして乱雑さがはかれるのか不思議ですね。そこで、具体的な例を見てみましょう。

図のように、300K の物体と 200K の物体があり、熱は温度が高い方から低い方に 600J だけ伝わるとしましょう。すると、温度の高い方は外からの熱は -600J 増加し、温度の低い方は外からの熱として 600J となります。すると全体のエントロピーの増加は



熱の伝わりによりエントロピーは？

全体のエントロピーの増加＝ 600J/200K-600J/300K=(3-2)J/K=1J/K

となりますね。つまり熱が温度が高い方から低い方に伝わると全体のエントロピーは増加しています。

このことから、熱力学の第２法則は

熱的力学的に接触する全体の系のエントロピーはいつも増大する

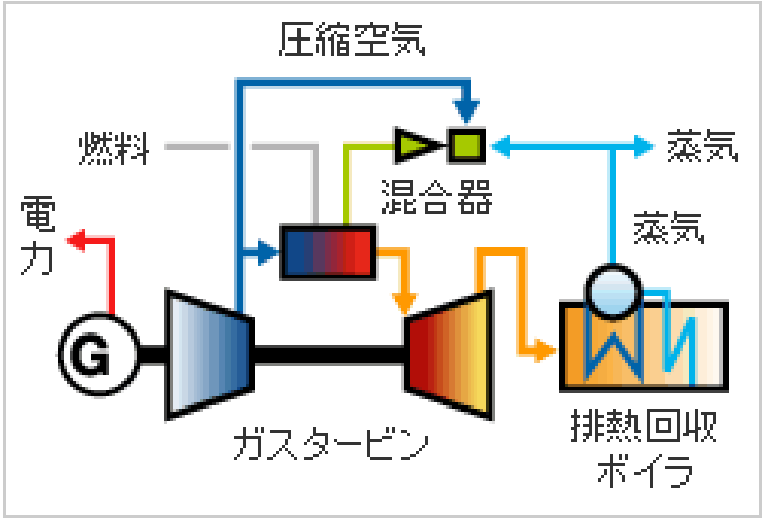
ということになるます。

出典：*https://ocw.hokudai.ac.jp/wp-content/.../ScienceLiteracy1-2009-Text-05.pdf*

排熱回収

間接回収

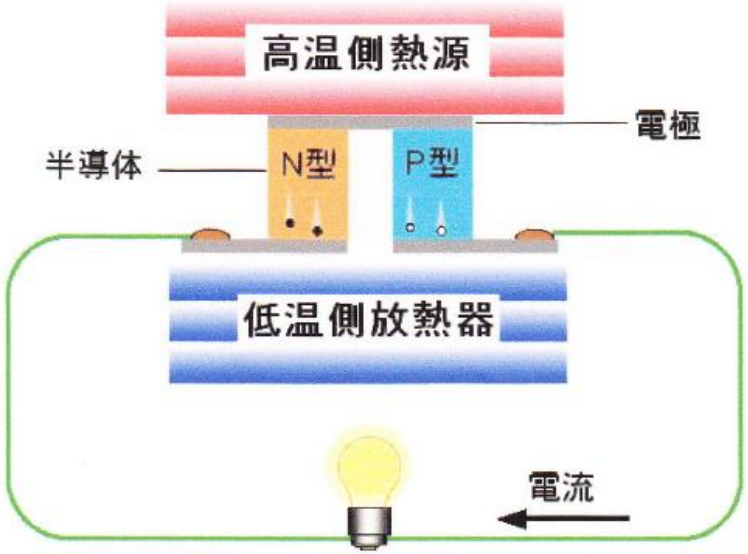
間接回収の一例



出典：https://www.ihi.co.jp/powersystems/technology/flecs.html

直接回収

ゼーベック熱電変換素子による回収



出典：産業技術研究所　熱電変換グループ　山本　淳氏ホームページ

廃熱発電事例の紹介(1/3)

廃熱発電コンソーシアム

The Waste Heat Recovery Technology Consortium of Japan

私たちは、地球温暖化の原因といわれている二酸化炭素の排出を削減するため、未利用のまま捨てられている熱を熱電変換によって電気エネルギーに再資源化する排熱発電技術の実用化を目指して、研究開発を行っているグループです。

推進

排熱発電技術開発におけるバリューチェーン構築
要素技術から実用化へ向けた直線的な連携枠組み
外部資金プロジェクト推進による水平展開型技術開発
欧州、米国、台湾、韓国との積極的プロジェクト連携

活動

①コンソーシアムメンバー同士のプロジェクト組成の支援、国のプロジェクトへの申請
②研究会、シンポジウム、交流会、見学会などの開催
③コンソーシアムとして展示会などへの出展
④海外における熱電変換技術状況の調査

メンバー

原材料・部材料開発関連 1社
素子・モジュール開発関連 5社
熱源所有・排熱利用開発 7社
商社 1社、製造装置開発 3社
解析 1社　（18社）

産業技術総合研究所（つくば）、三重県工業研究所、石川県工業試験場、岡山セラミックス振興財団、東京都環境公社、名古屋大学、東京大学、茨城大学、東北大学、明治大学、早稲田大学、岡山理科大学、岡山県立大学、津山高専、首都大学東京、東京工科大学、山口東京理科大学、東京理科大学

排熱発電コンソーシアム主催

第2回熱電実用化シンポジウム～見えてきた、熱電発電実用化～

2019年7月30日（火）　東京理科大学神楽坂キャンパス記念講堂

皆様のご参加をお待ちしております。
詳細は下記HPをご確認ください。
http://www.whr-conso.net/

WHR
The Waste Heat Recovery technology consortium of Japan

廃熱発電事例の紹介(3/3)

第2回 熱電実用化シンポジウム

見えてきた、熱電発電実用化

近年、未利用熱エネルギーの積極利用が求められています。今回のシンポジウムでは、3つのセッション（1:自動車産業における熱電発電とCO2削減、2:熱電発電実用化への要素技術、3:ハーベスティングと新材料探索）を設け、最新の技術・開発動向および取組みをご紹介いただきます。是非、排熱発電技術の実用化の更なる推進を一緒に考えてみませんか。皆様のご来場をお待ちしております。

WHR The Waste Heat Recovery Technology Association of Japan

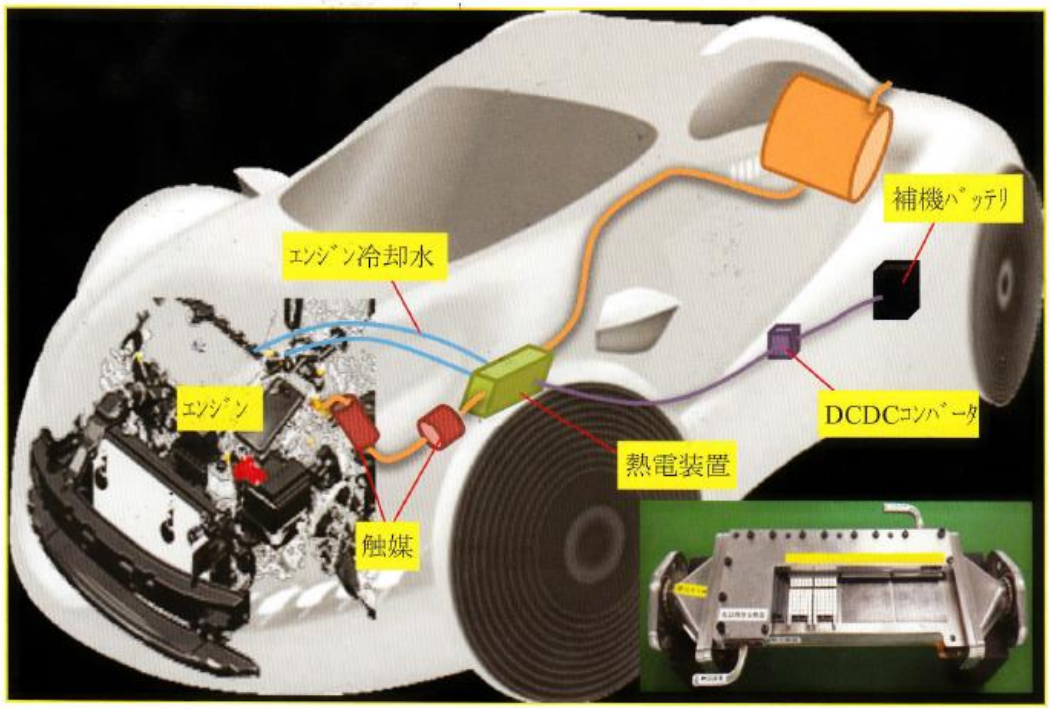
2019年7月30日【火】 時間 10:00～19:30
会場 東京理科大学 神楽坂キャンパス（記念講堂） 定員数 200名（申込中）

Program

開会／関係者挨拶		10：00～10：10
来賓講演		10：10～10：30
1	環境発電に対する期待と NEDO の取組について	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 省エネルギー部主査／プロジェクトマネージャー 近藤 篤 氏
セッション1『自動車産業における熱電発電とCO2削減』		10：30～12：10
基調講演	自動車用エンジンの高効率化技術に関する将来展望	早稲田大学 大学名誉教授 同大学研究院 次世代自動車研究機構 研究専門職 大聖 泰弘 氏
1	レンジエクステンダーEV、超高効率エンジン、熱電発電のマッチング	東京理科大学 基礎工学部材料工学科 教授 飯田 努 氏
2	トヨタ環境チャレンジ2050 ～CO2ゼロチャレンジの取組み～	トヨタ自動車株式会社 先進技術開発カンパニー 環境部長 山戸 昌子 氏
お昼休憩		12：10～13：20
セッション2『熱電発電実用化への要素技術』		13：20～15：40
1	発電用熱電モジュールの開発動向と評価技術 ～現状と課題～	国立研究開発法人産業技術総合研究所 エネルギー・環境領域 省エネルギー研究部門 熱電変換グループ長 山本 淳 氏
2	家電民生分野における高機能DCコンバータ事例 ～系統連系、双方向無線給電、および高耐圧共振形～	大阪工業大学 電気電子システム工学科 教授 大森 英樹 氏
3	熱電モジュール用低電圧・大電流入力DC/DCコンバータの高効率化	岡山理科大学 工学部電気電子システム学科 教授 笠 展幸 氏
4	一方向性多孔質金属"ロータス金属"を用いた熱ソリューション ～材料開発からソリューションプロバイダーへの展望～	株式会社ロータス・サーマル・ソリューション 代表取締役社長 井手 拓哉 氏
コーヒー休憩		15：40～16：00
セッション3『ハーベスティングと新材料探索』		16：00～17：30
1	エネルギーハーベスティングの市場・技術動向と普及に向けた課題	株式会社NTT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 竹内 敬治 氏
2	熱電発電応用製品：排熱回収・自立電源・IoTデバイス	株式会社KELK 常務取締役 事業統括部長 八馬 弘邦 氏
3	新規熱電材料探索の課題とマテリアルズインフォマティクス	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 物質系専攻 准教授 国立研究開発法人物質・材料研究機構 研究研究員 桂 ゆかり 氏
排熱発電コンソーシアムのご案内		17：30～17：40
閉会		17：40～17：45
意見交換会		18：00～19：30

廃熱発電事例の紹介(2/3)

車両実装時のイメージ



車両用熱電システム
熱電装置、DCDCコンバータから構成され、補機バッテリに電力を供給します。

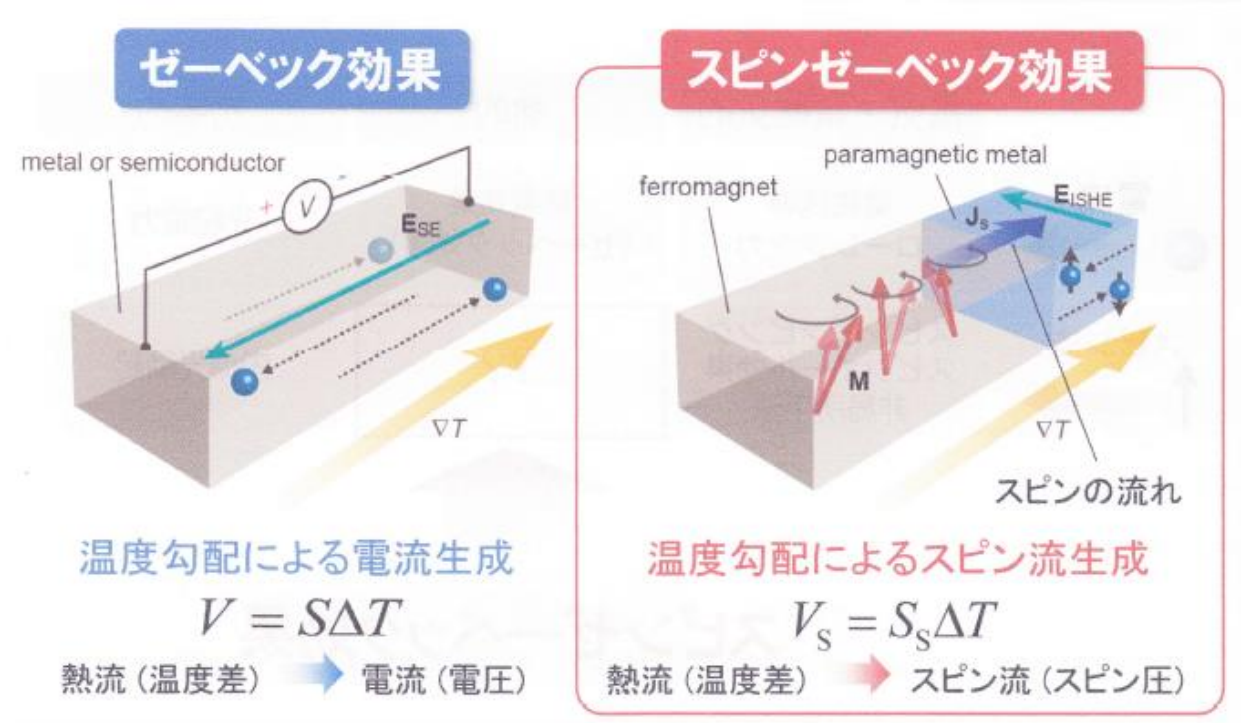
熱電装置
排熱として利用していないガスの熱エネルギーとエンジン冷却水との温度差で発電する熱電モジュールを搭載することを特徴とします。

出展：第2回熱電実用化シンポジウム～見えてきた、熱発電実用化～(2019-7-20) パンフレット

新しい熱発電素子研究事例の紹介

スピンゼーベク熱発電素子研究

スピンゼーベック熱発電の発表　　慶應義塾大学、東北退学のプレスリリース(2008年10月6日)



出典：東北大学金属材料研究所　内田　健一　　トーキン科学技術賞受賞式(2014-3-4)

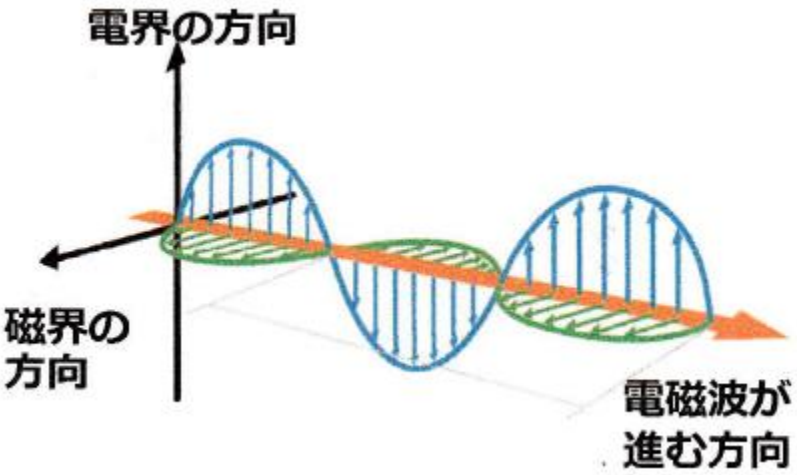
電磁波

電磁波とは

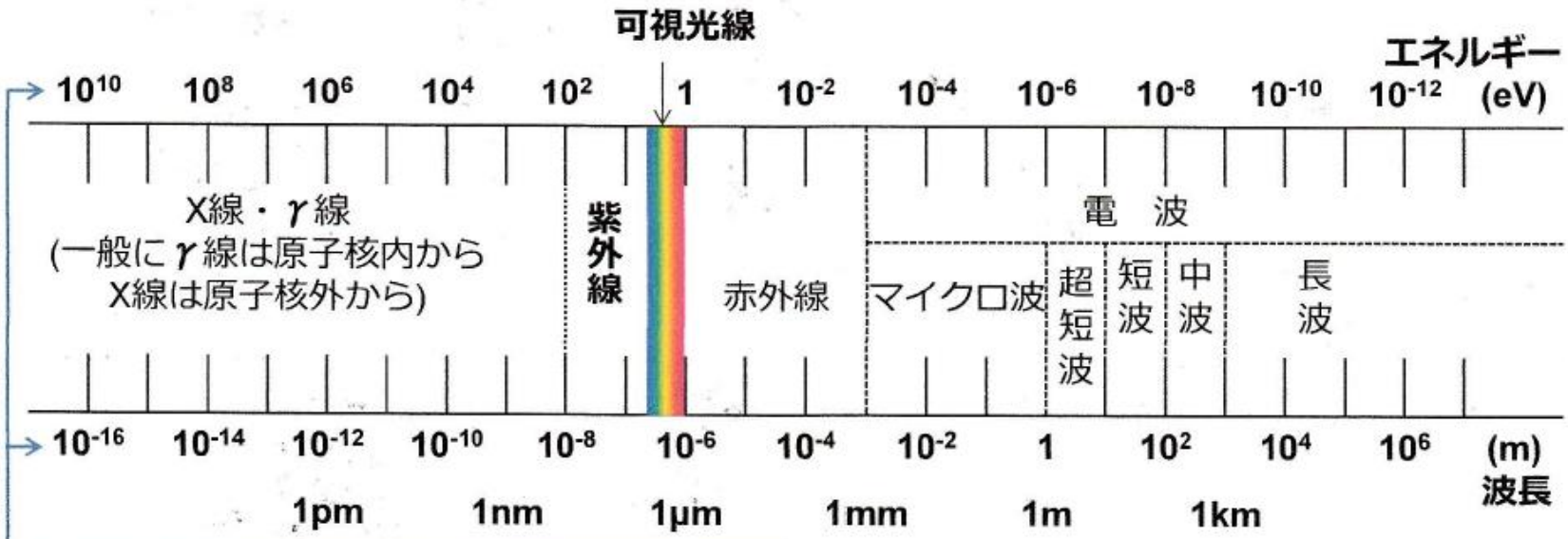
電磁波とは、電界（電場）と磁界（磁場）が相互に作用しながら空間を伝播する波のことです。波長が短くなると（周波数が高くなると）ほど、電磁波のエネルギーは高くなります。また放射線のエネルギーは電子ボルト(eV)で表されます。1eVは1.6×10^{-19}ジュール(J)です。

X（エックス）線とγ（ガンマ）線は、発生のメカニズムの違いがありますが、どちらもエネルギーの高い電磁波です。

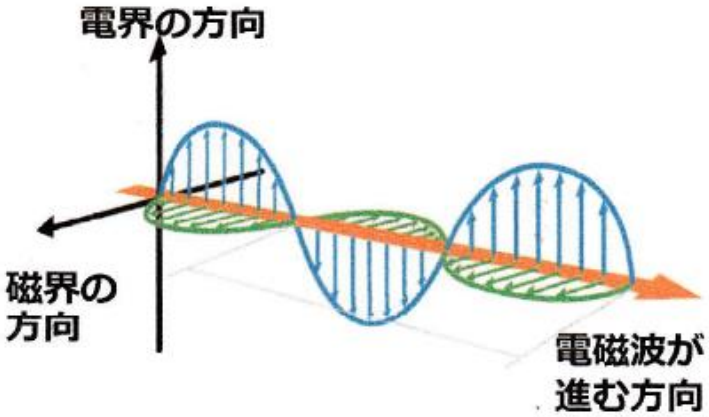
このように電磁波は文字通り、波としての振る舞いをすることもあることから、図に示すように電磁波が進む方向に対し直角な波型に表すことがあります。



電磁波の周波数、波長、エネルギー



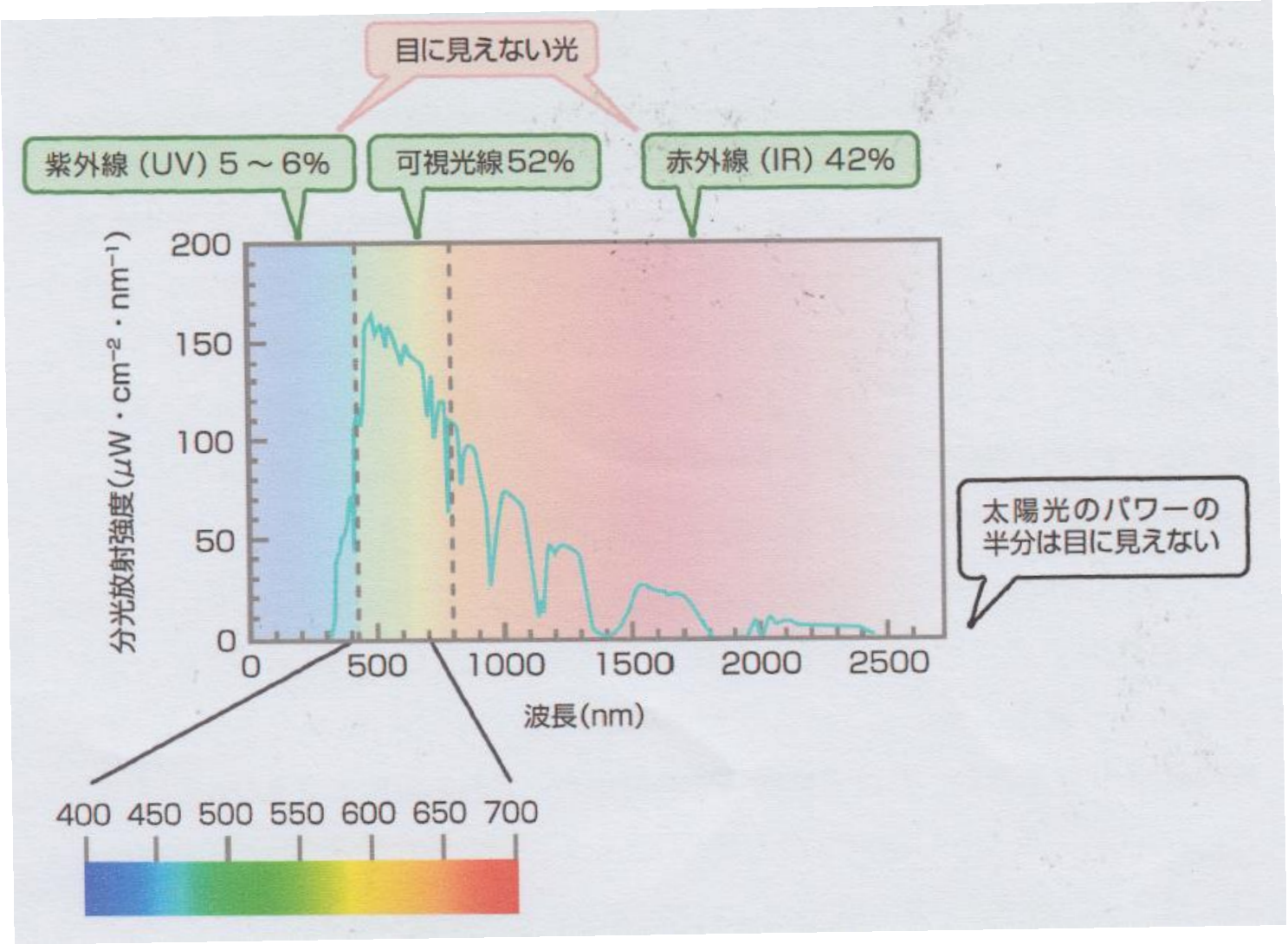
・光は波としての性質の他に粒子としての性質を持ちます
・電磁波を粒子ととらえたときに「光子」と呼びます
上の数字は光子のエネルギー(eV)、
下の数字は波動としての波長(m)を示します



pm：ピコメートル　μm：マイクロメートル
nm：ナノメートル　eV　：電子ボルト

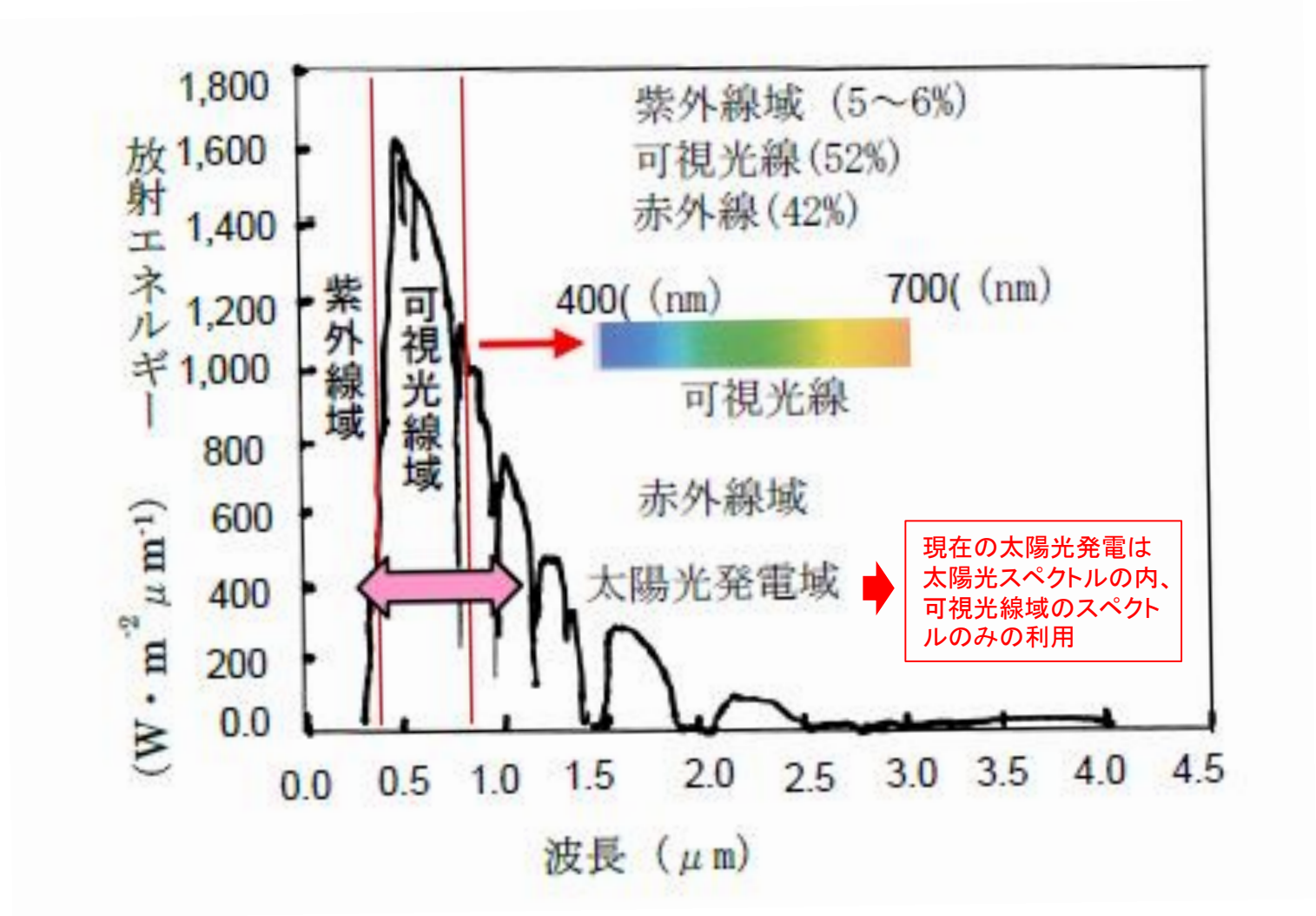
太陽エネルギー

太陽光スペクル



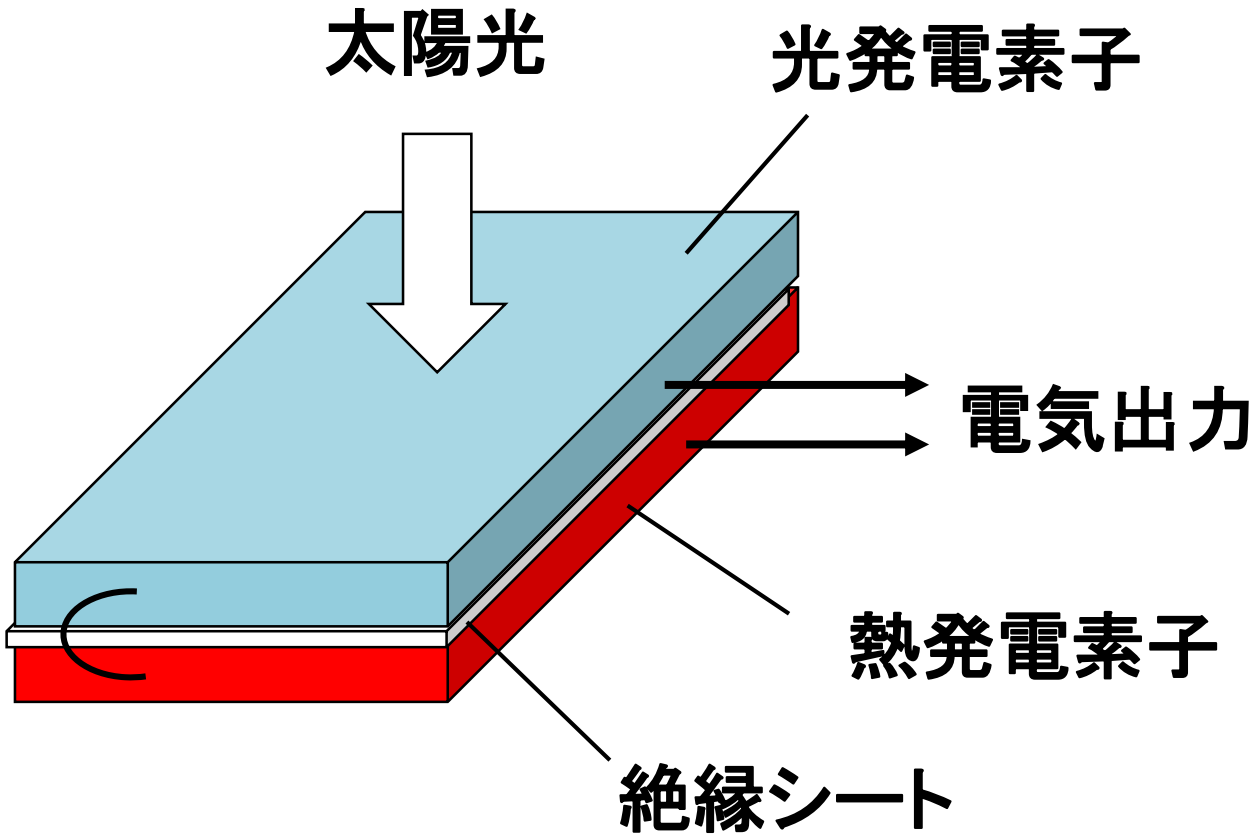
出典：http://home.sato-gallery.com/research/solar_kihon/Chap1_2proof.pdf

太陽光発電



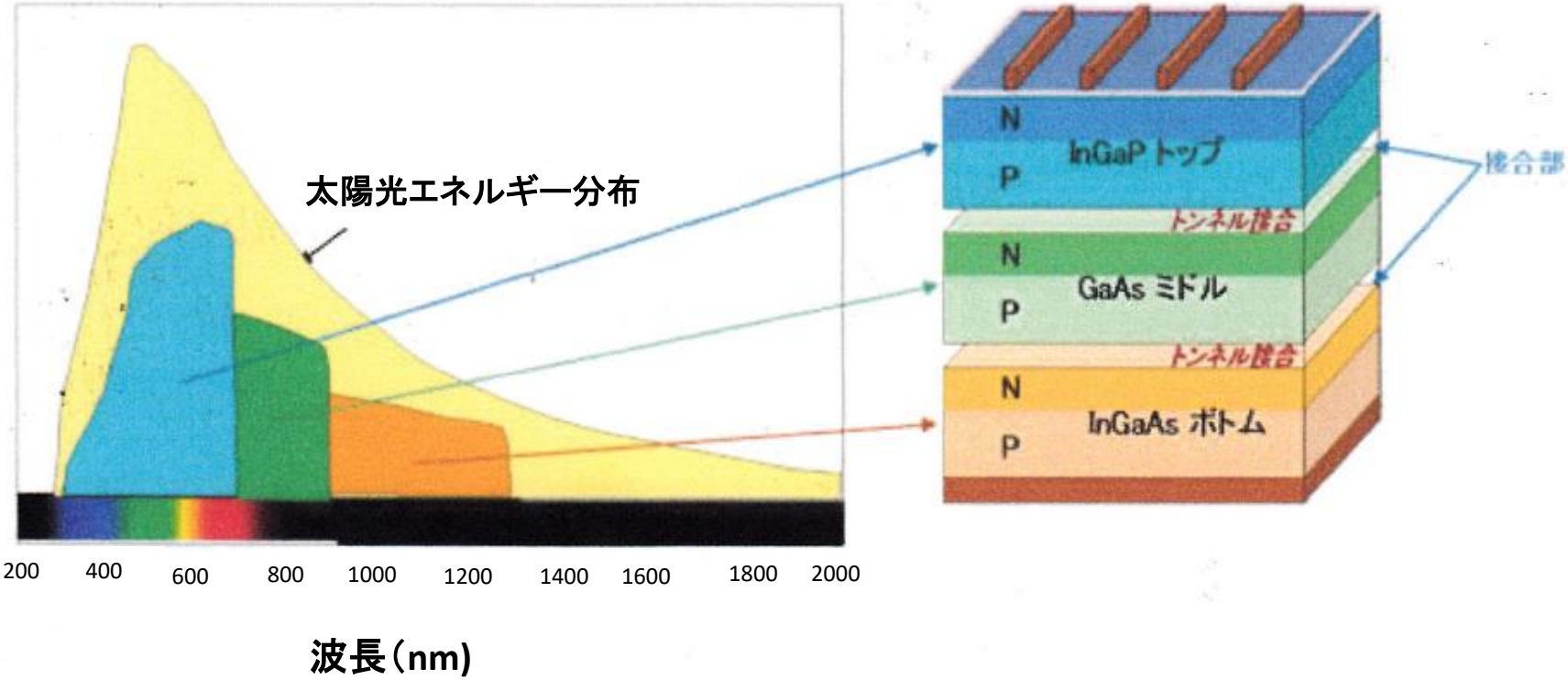
出展：木下　繁則「熱エネルギーリサイクルのための熱電変換技術開発推進の提案」H28年電気学会全国大会　No.4-216

太陽エネルギー変換素子の提案例



出展：木下　繁則 「熱エネルギーリサイクルのための熱電変換技術開発推進の提案」H28年電気学会全国大会　No.4-216

多層構造太陽電池の研究事例



現状

Si結晶太陽：最高20%

化合物3接合型

39.6%

出展：http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100061.html

次世代熱電変換素子の実現に向けて

ー　変換素子材料研究　ー

20世紀：パッシブ研究

・材料の発見が決めて

21世紀：アクティブ研究

・材料の創造

・20世紀の材料データの活用

・材料のシミュレーション

出展：木下　繁則　「次世代熱電変換素子による熱エネルギー回収の提案」
パワーエレクトロニクス学会定例研究会(第199回)(2013-8-3) JIPE-39-9

アクティブな研究による次世代熱電素子の創造

20世紀に蓄積した膨大な材料データ(原子、分子レベルでの)を活用し、コンピュータ(スーパーコンピュータ)を駆使して熱電変換動作、現象、性能をシミュレーションする。

↓

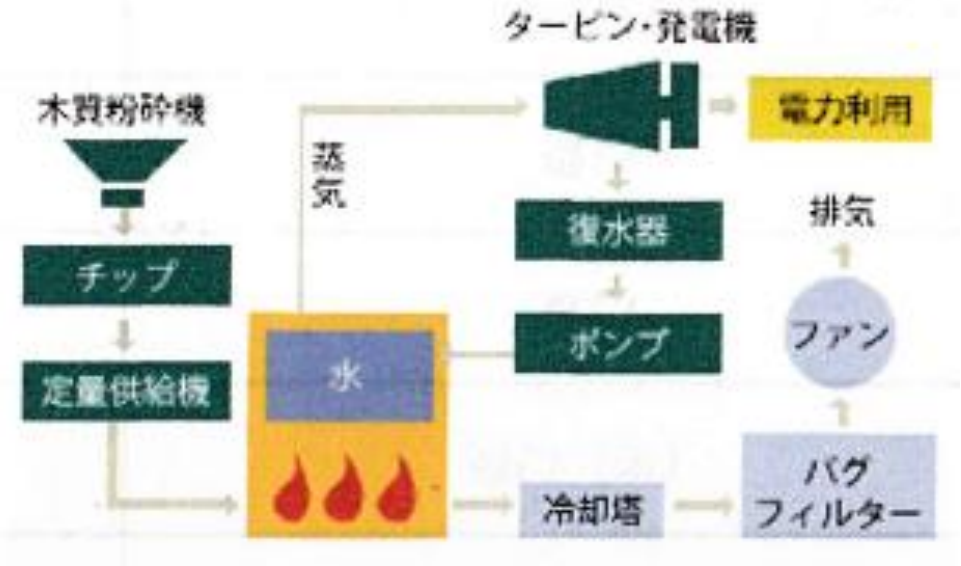
新しい熱電材料の創造

出展：木下　繁則　「次世代熱電変換素子による熱エネルギー回収の提案」
パワーエレクトロニクス学会定例研究会(第199回)(2013-8-3) JIPE-39-9

バイオマス発電

バイオマス発電とは？

バイオマス発電は、家畜の糞尿、食品廃棄物、木質廃材などの有機ゴミを直接燃焼し、発生する熱を利用して蒸気でタービンを回す仕組みです。火力発電の燃料（石油・石炭・天然ガス）が有機ゴミに変わったものとお考えいただけるとわかりやすいかもしれません。「バイオマス」は、動物・植物などを由来とする生物資源の総称です。



出典：https://www.aquas-biogas.jp/about/difference.html

音響エネルギー

音響エネルギー(1)

◆熱音響機関とは？

<どうやって駆動する？>

狭い筒の片方を加熱して、片方を冷やすと、筒の中の気体が不安定になり振動を開始します。この振動がピストンの代わりとなり、熱音響機関はエネルギ変換を行います。

<どうやって冷凍する？>

熱音響機関は温度差から音波を作りだす装置です。逆の作用を起こすことが可能なため、音波を入力することで温度差を作り出すことが出来ます。

<どうやって発電する？>

熱音響機関は音波を出力します。音波＝「気体の振動」を「電力」に変換するリニア発電機や衝動タービンと熱音響機関を連結することで熱を用いた発電が可能になります。

出典：再生可能エネルギー世界展示会(2019-7-10～12 パシフィコ横浜)　東海大学　配布資料“熱音響デバイス”

音響エネルギー(2)

◆熱音響機関のメリット

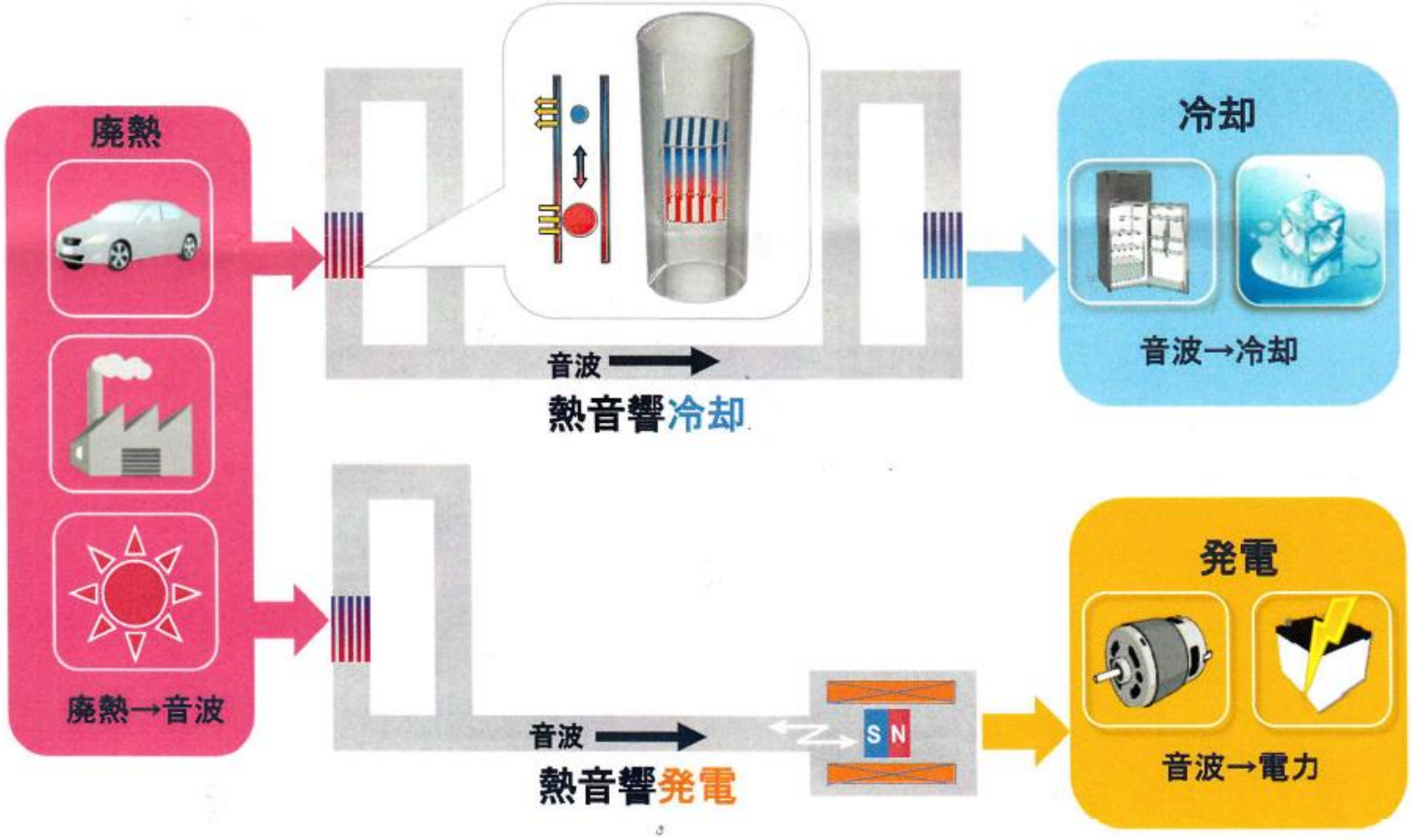
<可動部品なし－No Moving Parts>
基本的には動く部品がない簡単な構造なので、
メンテナンスフリー・長寿命・安価にできます。

<高効率－ High Efficiency>
高いエネルギ変換（熱→音）効率
（先行研究では30%以上）が可能です。

<廃熱回生－ Waste Heat Recovery>
産業・自動車排熱など多様な熱源を利用した
冷却・発電が可能です。

出典：再生可能エネルギー世界展示会(2019-7-10～12 パシフィコ横浜)　東海大学　配布資料“熱音響デバイス”

音響エネルギー(3)



出典：再生可能エネルギー世界展示会(2019-7-10～12 パシフィコ横浜)　東海大学　配布資料“熱音響機関”

キャパシタフォーラム

エネルギーと電力基礎講座

次回（第4回）内容

開催日（予定） 2020-2-21

電力技術による省エネルギーと電力分野へのキャパシタ活用の期待