

日時： 2007年5月19日(土) 13:30 - 16:50

場所： 名古屋国際センター 第2研修室

出席者： 38名

藤川 武敏(主査, 豊田中央研究所), 江守 正多(講師, 国立環境研究所), 内田 和秀(講師, 日本自動車部品総合研究所), 高橋 幸宏(講師, 日本自動車部品総合研究所), 青木 茂[追: 磯野 邦隆](豊田自動織機), 井原 禎貴(岐阜大学), 植田 隆広[追: 間瀬泰](いすゞ中央研究所), 内田 登(日野自動車), 太田 安彦(元名古屋工業大学), 大平 哲也[代: 中村 宗昭氏](スズキ), 加藤 正明[追: 松山 明広](デンソー), 加藤 隆輔(ヤマハ発動機), 金子 誠(富士重工), 鬼頭 俊介(豊田工業高等専門学校), 久保 賢明(日産自動車), 桑原 一成(大阪工業大学), 小池 誠[追: 箕浦 宏明](豊田中央研究所), 斎藤 昭則[追: 加藤 潤司, 大久保 陽一郎](豊田中央研究所), 柴田 元(新日本石油), 調 尚孝[追: 中瀬 善博](日本自動車部品総合研究所), 園 比呂志(本田技術研究所), 高野 孝義(豊田工業大学), 高橋 周平(岐阜大学), 田村 守淑(東邦ガス), 中田 浩一(トヨタ自動車), 長谷川 国生(ダイハツ工業), 守家 浩二[代: 佐藤 裕](大阪ガス), 山本 茂雄(三菱自動車工業), 若井 和憲(岐阜大学), 古谷 正広[代: 長谷川 貴史, 松下 徹也](幹事, 名古屋工業大学)  
[代: 代理出席者] [追: 追加出席者]

議事:

#### 1. 連絡事項(13:30-13:40)

藤川主査より, 以下の連絡事項があった。

- (1) 06年度活動報告と07年度の実施計画が説明され, 承認された。
- (2) 委員の交代が連絡され, 新規委員よりあいさつがあった。
- (3) 07年度版委員名簿を作成したので, 修正があれば連絡をお願いしたい。

#### 2. 話題提供

##### (1) 国立環境研究所 地球環境センター 温暖化リスク評価研究室長 江守 正多 氏 (13:40-15:10)

「CO<sub>2</sub> 排出と気候変動の関係」

要約:

まず温暖化のメカニズムについて説明があった。大気温室効果が無いと仮定すると, 地球が太陽から受け取るエネルギーと地表から輻射で放出するエネルギーは, 地表の平均温度が-19°Cでバランスすることになる。しかし実際には大気による温室効果(特にH<sub>2</sub>Oの効果が大きい)があるため, 地表の平均気温は14°Cになっている。大気成分には加熱作用を持つものと冷却作用を持つものの両方が挙げられる。前者の代表的な成分はH<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, オゾンであり, 中でもH<sub>2</sub>Oは濃度が高いため先に述べた地球の温度上昇の主體的な要因である。CO<sub>2</sub>の濃度は1800年代までは約280ppmであったが, 産業革命以後急増し2000年には360ppmと急激に上昇している。一方冷却成分の代表例としては硫酸塩などのエアロゾルによる太陽光の遮蔽が挙げられる。大気温度に影響を与えるものとしては, これらの人為起源要因の他に太陽活動や火山の噴火などの自然起源的な要因がある。

コンピューターシミュレーションでは大気, 海洋を数10~数100kmの3次元の格子に分割して, それらを支配している物理法則を解くことで温度変化を予測する。この時格子内現象はモデル化して扱っている。作成した気候モデルで過去の温度変化を再現し, これを使った要因解析を行った。その結果自然起源要因のみ与えた計算では, 1970年以降大気温度は低下することが示され, 実際の温度上昇は人為的要因を加味しないと説明できないことが明らかになった。一方昨今, 暖冬や大型ハリケーンのような異常気象が地球温暖化の影響であるかのような報道が多く見受けられる。これらをきちんと説明するにはその異常気象が1. 自然の変動の範囲内では起こり得ない強度や頻度であるか? 2. 予測される温暖化の傾向と整合するか? 3. 太陽活動等の他の要因では説明不可能か? 等の項目を科学的に証明する必要がある。異常高温の頻度が増えていることは確かであるが, 現段階では個々の異常気象のケースについてその原因が人間活動による温暖化にあるとすることは, 客観的には証明不可能と言える。

将来の地球温暖化を予測する場合, 以下の効果を考慮する必要がある。(1) CO<sub>2</sub>を主とする温室効果ガス排出量の予測。(2) 排出された温室効果ガスの大気残存割合。(3) 温室効果ガスが温度変化に及ぼす影響。このようなモデルを使って, 現在に対する西暦2100年の温度上昇を予測すると, 1.1°C~6.4°Cと大きな違いが出てくる。この予測温度幅の半分はCO<sub>2</sub>排出量が正確に予測できないことに起因する。例えば西暦2000年のアメリカ大統領選挙においてブッシュとゴアの得票差は極僅かであった。もしゴアが勝っていたならアメリカの経済政策は現在と異なるものになっていたはずで, それによって現在及び将来に渡るCO<sub>2</sub>排出量も実際の現状のものとは異なるものになっていたであろう。しかしこのような将来起こるであろう事態を予測することは困難である。そのため大きく4つのシナリオを想定して,

CO2 排出量と温度を予測している。即ち経済重視 or 環境重視？という軸、及び地域重視 or 国際化が進むか？という軸である。但し経済重視で国際化という象限のみ更に細かく、化石燃料依存 or 新技術開発？という分類が入る。

予測温度幅のもう半分の要因は科学的な不確実性である。これは先に述べた計算格子内のモデル化の不確実性に起因しており、代表的な問題として、温室効果ガスの増加に対して、気温がどの程度敏感に反応するかという気候感度推定の不確実性の問題がある。この要因としては、まず気温上昇に伴い水蒸気量、氷雪量、雲量等が変化する。それらが気温上昇に与えるフィードバックの大きさが気候感度を大きく左右するが、特に雲によるフィードバックの扱いが非常に難しい。即ち雲は温室効果が高く、赤外線に関しては気温を上げる方向に働く。一方では太陽光を反射し日陰を作るため、これは気温を下げる方向に働く。雲によるこれらの効果がプラス、マイナスどちらに働くかは、雲の生成場所や厚さ等により異なってくる。これらを厳密に解くのは困難であるため、最終的に気候感度を例えば“CO2 倍増に対して気温が 4℃上がる確率は〇〇%”というように統計的に表現することが検討されている。この不確実性を狭めるにはモデルの改良が不可欠であり、雲のフィードバックなどはメカニズムまで踏み込み、推定の幅を狭める努力を行っている。

2005 年に完成した地球シミュレータを用いて、気候モデルにより将来の気温や降水量を予測した。その結果、平均気温は地球全体で高くなるが、特に極地での上昇幅が大きくなる。これは温暖化により氷雪が融けることで太陽光の反射が少なくなるためである。また降水量に関しては熱帯では増加し、一方乾燥帯は減る傾向が予測される。このような気候変化が人間社会に及ぼす影響としては、海面上昇、農作物へのダメージ、水不足、熱帯伝染病の北上、等々が挙げられる。

ではどの程度 CO2 の排出量を減らせば良いか？ ということであるが、これは究極的には温度目標として、危険な影響を避けられるような値に安定化したい、ということで、欧州では 2℃以内の温度上昇を目標としている。これを達成するために、CO2 排出量を京都議定書で決められた 1990 年比 6%減少させれば良い、と思われている方もいるようだがこれは誤りである。京都議定書は温暖化抑制のためのスタートとしては、非常に意味のあるものであるが、これが達成できたとしても温暖化を止めることはできない。気温上昇を 2℃以内に収めるためには、CO2 濃度は現状から少なくとも 50%は減少させる必要がある。

## 質疑

- Q1. CO2 濃度が上がることで気温が上がるのでは無く、気温が上がることで CO2 濃度が上がっているという統計もある。これより、CO2 濃度の増加は人為的ではなく自然界の方が支配的であるという意見も聞くが、どう考えるか。
- A1. 確かに短期的なスケールでの観測では、そのような結果も出ている。このメカニズムは、エルニーニョにより気温が高くなると土の分解が進むことで CO2 が生成され濃度が上がる、といった CO2 レスポンスの結果が一因と考えられる。一方、過去の数十万年の気候の復元データからも、太陽と地球の位置関係から気温が上がり、その後 CO2 濃度が上がる、というデータも出されている。しかしその中には、CO2 濃度が上がったことで更に気温が上がっている、という効果も含まれている。これは現在議論している、CO2 濃度上昇が気温上昇をもたらす、という事と両立して理解することができる。温暖化の将来予測は一部不確実な科学を基に議論されている部分もあり、一部の研究者からはそれに対する疑問も出されているが、IPCC（気候変動に関する政府間パネル）を支持している研究者は長期的な観点からは CO2 濃度上昇が気温上昇を招く、という意見に自信を持っている。
- Q2. シミュレーションの仮定の中で、海洋による CO2 吸収が IPCC の 3 次レポートでは 30 億トンだったのが、今回の計算で 25 億トンになっているが、変わった理由は何か。
- A2. 今回は 4 次レポートの値を使っているが、幅のある推定値の中で、最も確からしい値が変わったためと考えられる。
- Q2. CO2 吸収は海洋しか考えられていないようだが、陸上の植物は吸収しないのか。
- A3. CO2 濃度が上がると光合成が盛んになり CO2 吸収量が上がるはずであるが、その定量的な数値は不確定である。
- Q4. 温暖化でシベリアの永久凍土が溶けると、凍土に含まれるメタンが大気に放出されて更に温暖化が進むという話もあるが、その部分は計算に入っているのか。
- A4. 今後はその影響も入れてゆく必要があると思うが、現在はその効果が定量的に分かっていない。シベリア上空での大気観測では、現状メタン濃度が増加していないという観測例もある。
- Q5. メタン放出が始まったら温暖化が暴走して止まらなくなるという意見も聞くが、どのように考えるか。
- A5. いわゆるポイントオブノーリターンと呼ばれる、戻れないポイントがあるとの意見である。これは気温が上がると雪が融けて太陽光の吸収が良くなり更に気温が上がる、という事に代表されるようなポジティブフィードバックが支配的になるというものである。しかし、地球の気温は高くなれば赤外線放射が多くなり気温が下がるという、強いネガティブフィードバックが基本であり、簡単に逆転するものではないと考えている。
- Q6. 世の中で例えば 2050 年に CO2 濃度 550ppm 目標、という事も言われているが、これを達成するシナリオの中で、新エネルギーの技術はどの程度考慮されているのか。
- A6. その辺りは専門では無いが、自然エネルギー等の様々な技術開発や普及の効果は考慮している。詳しくは我々の研究所の別の研究グループで出している「脱温暖化 2050 プロジェクト」のホームページ\*を参照されたい。

\* [http://2050.nies.go.jp/index\\_j.html](http://2050.nies.go.jp/index_j.html)

(2) 日本自動車部品総合研究所 内田 和秀 氏 (15:30 - 16:10)

「廃熱回収システムにおけるスクロール型膨張機の効率向上」

要約：

自動車における大きな廃熱源は燃焼排気ガスとエンジン冷却水に大別されるが、これらを高熱源とする場合の廃熱回生の効率を試算してみるとそれぞれ約 15%, 7%程度となる。当然のことながら温度がより高い排気ガスを熱源とする方がより高い効率が得られる。ところが、実車両の一般的な使用状態において得られる廃熱量は、エンジン冷却水が約 8kW (ガソリン車, 10-15 モード走行) となり、排気ガスの約 4 倍に達するため、総合的には廃熱により得られる回生動力は冷却水回生による場合の方が大きくなる。そこで、現在の車両への搭載性と経済性を前提にして検討した結果、エンジン冷却水廃熱をランキンサイクルで回生する方式を考えた。

ランキンサイクルは、作動流体は R-134a であり、エンジン冷却水を高熱源とする蒸発器、発電機が直結された膨張機、コンデンサ、ポンプで構成される。コンデンサはエアコンサイクルと共用とし、膨張機での回生動力は電力として車両の電気負荷に供される。膨張機としては、8kW の冷却水廃熱を回収するのに必要な冷媒吐出容積と回転数の関係を考えて容積型とし、さらに特別な吸排気弁機構を必要としないスクロール型を選定した。

車載されるランキンサイクルの膨張機における膨張圧力比は、外気温が低く低温側圧力が低くなる冬期に高く、逆に夏期には低くなってしまふ。外気温の変化による容積比と膨張機効率との関係について検討した結果、通年で多くの回生動力が得られるように容積比を 2 に設定した。また、高压の吸気ポート部から膨張作動室への漏れ込みを低減させて理想的な膨張過程を実現するため、スクロール中央部に位置する吸気ポートの位置やスクロールヘッドの形状を工夫することによって冷媒入り口部のシール性を高めた。

以上のようなスクロール膨張機を利用したランキンサイクルによる廃熱回生方式を適用し、車載を想定したシステムで回生電力を測定した結果、夏期条件で約 300W、冬期条件では約 500W の回生電力を実際に得ることができた。

質疑

Q1: 膨張機の回転数はどのようになるか。

A1: 容積型であるので膨張機吸気容積を小さくとれば回転数は高くなる。

Q2: エンジン冷却水は温度が低いのでランキンサイクルの熱効率が低い。排気熱の方を利用することはできないのか。

A2: ここで用いたシステムでは冷媒 R-134a を使用しているので、冷媒の分解やオイル劣化の問題のために熱源として排気熱を利用することはできないと考えている。

Q3: 排気熱はより温度が高いので、これを利用する別の方式を考えてはどうか。

A3: 具体的な検討も行っている。

Q4: スクロール羽根の表裏の温度差が大きくなるので、断熱するような工夫をする必要があるのではないか。

A4: 断熱することで効率は高くなることは把握しているが、我々が考えているシステムではこれ以上電力を必要としないので特に施していない。

Q5: 使用した膨張機の大きさはどれくらいであるか。

A5: 十分車載が可能な大きさである。

Q6: 冬期に回生動力を大きくすると暖房負荷に対して供給熱量が不足しないか。

A6: 不足する状況も生じる。夏期の冷房に特化して回生動力を得る方法も考えられる。

Q7: 他社で排熱回生の効率が 15% を超えるようなシステムの報告例があるが、何が異なるか。

A7: 現在の車両にそのまま搭載できるような大きさのものではないと思われる。

(3) 日本自動車部品総合研究所 高橋 幸宏氏 (16:10 - 16:50)

「ポート噴射エンジンにおける付着燃料の液膜厚さ解析」

要約：

ポート噴射エンジンの始動時、エンジン内壁面に付着する燃料は HC 排出の原因となる。全世界的に自動車の生産・保有台数が増加している現在、ガソリンエンジン車の排気浄化の手段として三元触媒が採用されている。三元触媒には貴金属（白金、ロジウム、パラジウム）が使用されており、排気規制強化とともにその一台あたりの使用量が増加している。また、貴金属の生産地は偏在しており、政情不安等の影響、価格高騰の傾向などが問題である。このような背景から、エンジン全体でのエミッション低減技術が必要である。排気中 HC は、冷始動時の 120 秒間にモード総排出量の 90% が排出される。その要因として、ポート・筒内に付着した燃料が考えられる。この付着した燃料を計測できれば、排出量低減に有用である。そこで、レーザー誘起蛍光法を用いた液膜厚さの計測技術を開発したので紹介する。

計測原理は、蛍光剤を混入した燃料にレーザー光を照射し、励起した蛍光剤の蛍光強度を計測して液膜厚さに換算する手法である。レーザーは He-Cd の連続レーザーを用い、光ファイバーで計測面まで導く。燃料液膜の蛍光は光ファイバー、ラマンノッチフィルタ、バンドパスフィルタを経て光電子増倍管で計測される。あらかじめ厚さが既知

の液膜について計測を行い、液膜厚さの検定を行った。

供試機関は、直列四気筒のポート噴射エンジン（行程容積:2.4 L, 圧縮比:9.6）である。吸気カムは大リフトカム（リフト量 9.4 mm, バルブ開時期 3° BTDC, 閉時期 60° ABDC）および小リフトカム（1.4 mm, 40° ATDC, 16° BBDC）を用いた。液膜厚さ計測位置は、吸気ポート内バルブ上流 10 および 15 mm のポート上側、下側壁面の 4 点と、燃焼室内はペントルーフ頂上、排気スキッシュ部、シリンダー壁面（吸気・排気側）の 4 点である。第四気筒を解析した。

吸気ポート下側壁面では、噴射タイミングに合わせてサイクル毎に膜厚が増加する。大リフトカムの場合、6 サイクル目で 140  $\mu\text{m}$ （15 mm 上流）、80  $\mu\text{m}$ （10 mm 上流）に達する。小リフトカムの膜厚は大リフトカムの 1/3 である。この位置での付着要因は、噴霧の衝突とバルブ開閉に伴う気流による液膜流動であり、小カムではバルブ開時期が ATDC のため逆流が発生せず気流の影響は少ないと思われる。

吸気ポート上側壁面では、3 サイクル目から急激に膜厚が増加する。細かく見ると、バルブ閉時に付着量が增大している。小リフトカムは大リフトカムに比べ、吸気ポートへの燃料付着がほとんどない。

燃焼室ヘッド部の膜厚は、小カム>>大カムとなる。排気バルブ開で厚くなり、吸気バルブ開で薄くなる。流動により、壁面を伝って液膜が移動していると考えられる。シリンダー壁面では、大リフトカム使用時に 3 サイクル目で吸気側に液膜流れが到着している。

実験の結果から、液膜の流動に気流が大きく影響していると思われる。そこで、一次元シミュレーション (GT POWER) を行い始動時の空気流動を調べた。大リフトカムではバルブの開閉時に逆流が発生し、これがポート全体に付着燃料が広がる原因と考えられる。小リフトカムの開弁時には流速が 200 m/s に達し、バルブに付着した燃料が気流によって移動する原因となっている。

暖気過程（1200 rpm）の実験結果から、ポートに付着した燃料はバルブ開中に下流へ流動し、バルブ閉時に液膜がちぎれて飛散しポートへ再付着していると推定できる。回転数が高くなると流速が高くなるため、膜厚は薄くなる。

数値計算で求めた吸気の脈動と膜厚はよい相関がある。負荷が高くなると膜厚が厚くなる。バルブオーバーラップが大きくなると膜厚は薄くなる。

#### 質疑

Q1. ライナー部における潤滑油が計測に影響しないのか。

A1. レーザー光に対して光らない特別な潤滑油を使用している。

Q2. 液膜の背後にある噴霧等の蛍光の影響はないのか。

A2. 実際に噴霧を伴った予備検討で、膜厚換算で $\pm 3 \mu\text{m}$ 程度の誤差に収まることを確認している。

Q3. この計測技術の応用の可能性はどのようなものが考えられるか。

A3. ピストン頂面の計測等が行われている。バルブ傘面は狭くて計測部の設置が難しい。

Q4. 蛍光強度と液膜厚さとの間にニアリティが確保できる厚さの限界はどれくらいか。

A4. 1 mm を超えると蛍光強度が飽和する。700 ~ 800  $\mu\text{m}$  が測定に使える限界である。

以上