

## メタノールエンジンの低温始動性改善に関する研究

(部分酸化反応により得られる可燃ガスの利用とエンジンへの適用)

### 学位論文内容の要旨

メタノールは、蒸気圧が低く本質的に氷点下の低温では引火せず、低温始動性能に問題がある燃料である。本論文は、メタノールをオットータイプエンジンの燃料として使用する際に問題となる低温始動性能の新しい改善方法を提案し、要素技術に必要なとされる指針を与えるものである。自動車の実用性を考えた場合、米国北部、欧州（北欧を除く）および日本では $-30^{\circ}\text{C}$ の環境でクランキング時間が30秒以内でのエンジン始動が必要であることから、本研究ではM100（ニートメタノール）を燃料とするオットータイプエンジンについて、この基準を目標に改善方法の提案と実証を行う。

エンジンの吸気系に設置した部分酸化燃焼器において、超音波燃料噴射弁により微粒化されたメタノール噴霧を放電火花により点火し、過濃燃焼による部分酸化反応により水素と一酸化炭素を瞬時に生成させる。次にこれらの可燃ガスをエンジンの燃焼室に導入し、始動する。本コンセプトを4気筒のM100エンジンに適用した結果、 $-30^{\circ}\text{C}$ で約10秒間のクランキング時間で始動することに成功した。

本研究では、このコンセプトを実現させるための要素技術について検討した。まず $-30^{\circ}\text{C}$ における放電火花によるメタノール噴霧の点火、部分酸化反応による可燃ガスの生成、得られた可燃ガスと希釈空気による可燃混合気の形成についての検討を行った。次に本システムを多気筒エンジンに適用し、部分酸化燃焼器で生成される可燃ガスの低発熱量について調べ、最後に実用上の問題について検討した。

本論文は8章からなる。以下に各章の概要を述べる。

第1章では、メタノール自動車を開発する上での解決すべき課題を挙げ、その中の低温始動性の改善に関する研究動向についてまとめた。また本研究の目的および概要について述べた。

第2章では、メタノールエンジンの低温始動性を改善するために試みた①噴霧の微粒化、②燃料加熱、③メタノールの改質などの方法について述べた。M85（メタノール85%、ガソリン15%）燃料では、①噴霧の微粒化と②燃料加熱を組み合わせることによって $-30^{\circ}\text{C}$ における10秒以内の始動を達成できるが、M100燃料では改善効果が認められなかった。また③メタノールの改質がM100燃料でも効果があること、この中では触媒反応（オンボードリフォーマ）の利用よりも燃焼反応によって得られる水素および一酸化炭素を利用する方法が改善効果が大きいことが明らかになった。

第3章では、部分酸化燃焼器において噴射されたメタノール噴霧の点火には、放電火花により液滴を気化させ、点火する必要があることから、 $-30^{\circ}\text{C}$ の条件でメタノール噴霧が点火される条件を検討した。その結果、放電期間内に火花の中を通過する液滴の直径が小さく、総個数が多いほど噴霧を点火しやすいことが明らかになった。

第4章では、部分酸化燃焼器で水素および一酸化炭素を高濃度で生成させるための条件を調べ、得られる可燃ガス濃度の上限値を把握する実験を行った。次に可燃ガスと空気との混合気の点火する条件について調べ、始動に必要な希釈空気量の条件について検討した。得られた結果は以下のとおりである。

- ① メタノールを予混合燃焼させると、空気過剰率が0.41で過濃限界となる。このときの水素および一酸化炭素濃度が上限値で、その濃度は両者ともに約20%である。
- ② 可燃ガスと希釈空気による混合気が点火するときの水素、酸素濃度はそれぞれ約5%以上、約9%以上である。またこの条件は、エンジンの初爆条件と一致する。
- ③ 可燃混合気の形成には、部分酸化燃焼器の入口条件における空気過剰率( $\lambda_b$ )を0.6以下で燃焼させて約9%以上の水素濃度を得ることと、希釈率DR（部分酸化燃焼器の供給空気量と希釈空気量の比）を1.8~3.2の範囲とすることが必要条件である。

第5章では、 $-30^{\circ}\text{C}$ の条件でエンジン始動後に部分酸化燃焼器で得られた可燃ガスのみでアイドルさせた場合、回転速度を1000rpm以上に上昇させることができなかったため、無負荷運転に要する熱量(ENL)を実験的に調べた。その結果、 $-30^{\circ}\text{C}$ の環境において排気量2Lの4気筒エンジンの始動直後に、エンジン回転速度を一定(1000rpm)に保持しながら運転させるために必要な熱量(1100~1300J/cycle)を明らかにすることができた。

第6章では、部分酸化燃焼器で得られる可燃混合気の低発熱量と、第5章で得られたENLの比較を行い、部分酸化燃焼器で発生した熱量で運転できる負荷の範囲を検討した。その結果、可燃混合気の低発熱量は、500~850J/cycleであり、この値はスロットル全開運転時のメタノール理論混合気の10~15%に相当すること、ENLと可燃混合気の低発熱量とが釣り合う回転速度の最大値は約800rpmであり、部分酸化燃焼器からの熱量により、エンジンの始動から無負荷運転まで可能なことが示された。

第7章では、エンジン始動後に負荷運転させる場合には、始動後の早期における燃料噴射（超音波燃料噴射弁からポートインジェクタ）の切り換えが課題となることから、燃料噴射の切り換えに必要な温度条件について検討した。その結果、点火プラグの座面温度が燃料噴射切り換え時の情報に適していること、始動後約30秒後には点火プラグの座面温度が約 $5^{\circ}\text{C}$ に到達し、ポートインジェクタから噴射されるメタノールのみで通常の負荷運転が可能となることが明らかになった。

第8章は本論文の終論であり、本研究の結論、工学的寄与ならびに今後の課題について記述した。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 藤 献 一  
副 査 教 授 宮 本 登  
副 査 教 授 菱 沼 孝 夫  
副 査 助 教 授 藤 田 修

学 位 論 文 題 名

## メタノールエンジンの低温始動性改善に関する研究

(部分酸化反応により得られる可燃ガスの利用とエンジンへの適用)

メタノールを火花点火エンジンの燃料として使用する場合、燃料の蒸気圧が低いため低温始動限界は約0℃となり、冬季寒冷地における実用性に問題がある。本論文は、この問題を解決するための新しい改善方法を提案し、その要素技術について検討したものである。本論文では、自動車の実用性の観点から、M100（ニートメタノール）を使用して、-30℃の環境でクランキング時間が30秒以内を目標として、改善方法の具体的提案を実証を行っている。

本論文ではまず、低温条件における放電火花による噴霧への点火、および部分酸化反応による可燃ガスの生成、可燃混合気の形成について検討し、これをもとに部分酸化燃焼システムによる始動方法を提案し、多気筒エンジンに適用した成果を述べている。すなわち、超音波燃料噴射弁により従来より微細なメタノール噴霧を形成し火花点火による噴霧への着火を確実なものとし、過濃燃焼による部分酸化反応により水素と一酸化炭素を発生させ、この可燃ガスに希釈空気を導入し可燃混合気を形成し、エンジンを始動するシステムを提案した。これにより、4気筒のM100エンジンを-30℃下で約10秒のクランキング時間で始動することに成功している。

ついで、メタノール噴霧の点火の条件に関する解析を行い、放電火花の中を通過する燃料液滴数が点火条件を決定することを明らかにしている。また、可燃ガス混合気の点火条件をガス濃度およびエンジン運転制御に必要な希釈率により整理できることを示し、希釈率は1.8~3.2の範囲とすることが必要条件であることを見いだしている。

さらに、可燃ガス混合気の低発熱量と、エンジン無負荷運転に要する熱量を算定する方法をはじめて提案し、これにより部分酸化燃焼器で発生したガスの熱量で運転可能な回転速度の範囲を示し、エンジン無負荷運転要求熱量と部分酸化燃焼器との整合技術に指針を与えている。

これを要するに、著者は、従来不可能であった-30℃におけるメタノール火花点火エンジンの始動を実用上のレベルで可能とする新しい方法を提案し、代替燃料エンジンの開発において有益な新知見を得たものであり、燃焼工学および内燃機関工学に寄与するところ大である。

よって、著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。