

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6813163号
(P6813163)

(45) 発行日 令和3年1月13日(2021.1.13)

(24) 登録日 令和2年12月21日(2020.12.21)

(51) Int. Cl.	F I
FO2D 45/00 (2006.01)	FO2D 45/00 369
FO2D 41/04 (2006.01)	FO2D 41/04
FO2D 19/08 (2006.01)	FO2D 19/08 Z

請求項の数 10 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2016-87399 (P2016-87399)	(73) 特許権者	501204525
(22) 出願日	平成28年4月25日 (2016.4.25)		国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所
(65) 公開番号	特開2017-198095 (P2017-198095A)		東京都三鷹市新川6丁目38番1号
(43) 公開日	平成29年11月2日 (2017.11.2)	(74) 代理人	110001210
審査請求日	平成31年4月12日 (2019.4.12)		特許業務法人 Y K I 国際特許事務所
特許法第30条第2項適用	『第85回(平成27年)マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集』2015年10月26日 公益社団法人 日本マリンエンジニアリング学会発行	(72) 発明者	高木 正英
			東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内
		(72) 発明者	川内 智詞
			東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 燃料の蒸発過程解析方法、蒸発過程解析プログラム及びそれを用いた燃料噴射制御システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

燃料の蒸発過程において使用される物性値を分子量の関数として表して扱うことができる物質の分子構造に基づいて分類されるグループである燃料種について複数の燃料種を混合させた燃料の蒸発過程解析方法であって、

前記燃料の蒸発時の液体燃料分子量、前記蒸発時に液体として残っている前記燃料の平均の分子量を示す液体燃料平均分子量及び前記蒸発時において蒸発後の前記燃料の平均の分子量を示す気体燃料平均分子量に基づいて蒸発過程において時々刻々と変化する前記複数の燃料種毎の前記物性値を、前記分子量の関数としての前記物性値を基に推算し、前記物性値を用いて燃料液滴の前記蒸発過程における液滴径変化と温度変化を解析することを特徴とする燃料の蒸発過程解析方法。

10

【請求項2】

請求項1に記載の燃料の蒸発過程解析方法であって、

前記液体燃料分子量、前記液体燃料平均分子量及び前記気体燃料平均分子量に基づいて、前記複数の燃料種毎に取得したデータから前記燃料の蒸発に関わる前記複数の燃料種毎の前記物性値を推算することを特徴とする燃料の蒸発過程解析方法。

【請求項3】

請求項1又は2に記載の燃料の蒸発過程解析方法であって、

前記燃料液滴の初期条件と前記燃料液滴に含まれる前記複数の燃料種の混合割合に応じて前記蒸発過程を時間分割した時間ステップ毎に、選択される割合が前記燃料液滴にお

20

る前記複数の燃料種の前記混合割合となるように、前記複数の燃料種のうち1つを当該時間ステップにおいて蒸発する燃料種として選択し、前記複数の燃料種毎の前記物性値を求め、当該物性値を用いて前記時間ステップ毎に前記液滴径変化と前記温度変化を解析することを特徴とする燃料の蒸発過程解析方法。

【請求項4】

コンピュータによって、燃料の蒸発過程において使用される物性値を分子量の関数として表して扱うことができる物質の分子構造に基づいて分類されるグループである燃料種について複数の燃料種を混合させた燃料の蒸発過程を解析する蒸発過程解析プログラムであって、

前記燃料の蒸発時の液体燃料分子量、前記蒸発時に液体として残っている前記燃料の平均の分子量を示す液体燃料平均分子量及び前記蒸発時において蒸発後の前記燃料の平均の分子量を示す気体燃料平均分子量を取得するステップ1と、

前記液体燃料分子量、前記液体燃料平均分子量及び前記気体燃料平均分子量に基づいて前記蒸発過程において時々刻々と変化する前記複数の燃料種毎の前記物性値を、前記分子量の関数としての前記物性値を基に推算するステップ2と、

前記物性値を用いて前記蒸発過程における燃料液滴の液滴径変化と温度変化を解析するステップ3と、

前記液滴径変化と前記温度変化の結果を出力するステップ4と、
を備えることを特徴とする蒸発過程解析プログラム。

【請求項5】

請求項4に記載の蒸発過程解析プログラムであって、

前記ステップ2において、前記液体燃料分子量、前記液体燃料平均分子量及び前記気体燃料平均分子量に基づいて、前記複数の燃料種毎に取得したデータから前記燃料の蒸発に関わる前記複数の燃料種毎の前記物性値を推算することを特徴とする蒸発過程解析プログラム。

【請求項6】

請求項4又は5に記載の蒸発過程解析プログラムであって、

前記ステップ2において、前記燃料液滴の初期条件と前記燃料液滴に含まれる前記複数の燃料種の混合割合に応じて前記蒸発過程を時間分割した時間ステップ毎に、選択される割合が前記燃料液滴における前記複数の燃料種の前記混合割合となるように、前記複数の燃料種のうち1つを当該時間ステップにおいて蒸発する燃料種として選択し、前記複数の燃料種の前記物性値を求め、当該物性値を用いて前記ステップ3において、前記時間ステップ毎に前記液滴径変化と前記温度変化を解析することを特徴とする蒸発過程解析プログラム。

【請求項7】

請求項4～6のいずれか1項に記載の蒸発過程解析プログラムであって、

前記ステップ3における前記解析の結果として前記燃料液滴の液滴径が所定の値となるまで前記ステップ2と前記ステップ3を繰り返すことを特徴とする蒸発過程解析プログラム。

【請求項8】

請求項6又は請求項6に従属する請求項7に記載の蒸発過程解析プログラムであって、

前記ステップ4における前記液滴径変化と前記温度変化の結果は、前記蒸発過程を時間分割した前記時間ステップ毎における前記燃料液滴の液滴径と温度として出力されることを特徴とする蒸発過程解析プログラム。

【請求項9】

燃料の蒸発過程において使用される物性値を分子量の関数として表して扱うことができる物質の分子構造に基づいて分類されるグループである燃料種について複数の燃料種を混合させた燃料の蒸発過程解析手段であって、前記燃料の蒸発時の液体燃料分子量、前記蒸発時に液体として残っている前記燃料の平均の分子量を示す液体燃料平均分子量及び前記蒸発時において蒸発後の前記燃料の平均の分子量を示す気体燃料平均分子量に基づいて蒸

10

20

30

40

50

発過程において時々刻々と変化する前記複数の燃料種毎の前記物性値を、前記分子量の関数としての前記物性値を基に推算し、前記物性値を用いて燃料液滴の前記蒸発過程における液滴径変化と温度変化を解析する蒸発過程解析手段を備え、

前記蒸発過程解析手段によって得られた解析結果を用いて燃焼機関における前記燃料の燃料噴射時期を制御することを特徴とする燃料噴射制御システム。

【請求項 10】

請求項 9 に記載の燃料噴射制御システムであって、

前記燃焼機関がディーゼルエンジンであることを特徴とする燃料噴射制御システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

本発明は、複数の燃料種を含む燃料の蒸発過程に対する燃料蒸発過程解析方法、蒸発過程解析プログラム及びそれを用いた燃料噴射制御システムに関する。

【背景技術】

【0002】

ディーゼル機関に用いられる留出油（軽油やA重油等）では、燃料の着火性を評価する指標としてセタン価が用いられている。セタン価は、噴射された燃料が自己着火するまでの時間である着火遅れ時間によって評価される。燃料の噴射から自己着火までの過程において、燃料の微細化、蒸発、乱流混合等の物理的な過程と、反応に関する化学的な過程が同時進行する。

20

【0003】

燃料液滴の蒸発を計算し、次に、火炎伝播を計算し、更に、燃料の液滴からの蒸発、予混合燃焼、拡散燃焼及び残留炭素燃焼の4つの項目について演算することによってディーゼル機関における熱発生率を計算するシミュレーションの技術が開示されている（特許文献1）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開平7-34894号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ところで、燃料の燃焼について検討する場合、燃料の着火遅れの長期化に伴う物理的及び化学的な効果を明確にするためには燃料の特性を調べる必要がある。着火における化学反応に関してはガソリンや軽油に対してサロゲート燃料の素反応機構が検討されているが、重質系や低着火性の燃料は検討の対象とされておらず、化学的な過程が解明されていない状況であり、まずは物理的な過程である燃料の蒸発過程を明らかにすることが必要である。

【0006】

しかしながら、燃料の蒸発過程の予測では、実用的な燃料について単成分への置き換えや成分を仮定した混合燃料についての検討が行われているだけであり、多種の燃料種を含む燃料についての高い精度の蒸発過程の予測ができていない。

40

【0007】

特許文献1のディーゼル機関の燃焼シミュレーション方法は、単に対象となるC重油等の燃料の分析値を基に燃料液滴の蒸発を計算しているものであり、C重油等を構成する多種の燃料種を考慮して蒸発の計算を行っているものではない。

【0008】

本発明は、多種の燃料種を含む燃料について、高い精度の蒸発過程の予測を行うことを目的とする。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 0 9 】

請求項 1 に対応した燃料の蒸発過程解析方法は、燃料の蒸発過程において使用される物性値を分子量の関数として表して扱うことができる物質の分子構造に基づいて分類されるグループである燃料種について複数の燃料種を混合させた燃料の蒸発過程解析方法であって、前記燃料の蒸発時の液体燃料分子量、前記蒸発時に液体として残っている前記燃料の平均の分子量を示す液体燃料平均分子量及び前記蒸発時において蒸発後の前記燃料の平均の分子量を示す気体燃料平均分子量に基づいて蒸発過程において時々刻々と変化する前記複数の燃料種毎の前記物性値を、前記分子量の関数としての前記物性値を基に推算し、前記物性値を用いて燃料液滴の前記蒸発過程における液滴径変化と温度変化を解析することを特徴とする。

10

【 0 0 1 0 】

ここで、前記液体燃料分子量、前記液体燃料平均分子量及び前記気体燃料平均分子量に基づいて、前記複数の燃料種毎に取得したデータから前記燃料の蒸発に関わる前記複数の燃料種毎の前記物性値を推算することが好適である。

【 0 0 1 1 】

また、前記燃料液滴の初期条件と前記燃料液滴に含まれる前記複数の燃料種の混合割合に応じて前記蒸発過程を時間分割した時間ステップ毎に、選択される割合が前記燃料液滴における前記複数の燃料種の前記混合割合となるように、前記複数の燃料種のうち 1 つを当該時間ステップにおいて蒸発する燃料種として選択し、前記複数の燃料種毎の前記物性値を求め、当該物性値を用いて前記時間ステップ毎に前記液滴径変化と前記温度変化を解析することが好適である。

20

【 0 0 1 4 】

請求項 4 に対応した燃料の蒸発過程解析プログラムは、コンピュータによって、燃料の蒸発過程において使用される物性値を分子量の関数として表して扱うことができる物質の分子構造に基づいて分類されるグループである燃料種について複数の燃料種を混合させた燃料の蒸発過程を解析する蒸発過程解析プログラムであって、前記燃料の蒸発時の液体燃料分子量、前記蒸発時に液体として残っている前記燃料の平均の分子量を示す液体燃料平均分子量及び前記蒸発時において蒸発後の前記燃料の平均の分子量を示す気体燃料平均分子量を取得するステップ 1 と、前記液体燃料分子量、前記液体燃料平均分子量及び前記気体燃料平均分子量に基づいて前記蒸発過程において時々刻々と変化する前記複数の燃料種毎の前記物性値を、前記分子量の関数としての前記物性値を基に推算するステップ 2 と、前記物性値を用いて前記蒸発過程における燃料液滴の液滴径変化と温度変化を解析するステップ 3 と、前記液滴径変化と前記温度変化の結果を出力するステップ 4 と、を備えることを特徴とする。

30

【 0 0 1 5 】

ここで、前記ステップ 2 において、前記液体燃料分子量、前記液体燃料平均分子量及び前記気体燃料平均分子量に基づいて、前記複数の燃料種毎に取得したデータから前記燃料の蒸発に関わる前記複数の燃料種毎の前記物性値を推算することが好適である。

【 0 0 1 6 】

また、前記ステップ 2 において、前記燃料液滴の初期条件と前記燃料液滴に含まれる前記複数の燃料種の混合割合に応じて前記蒸発過程を時間分割した時間ステップ毎に、選択される割合が前記燃料液滴における前記複数の燃料種の前記混合割合となるように、前記複数の燃料種のうち 1 つを当該時間ステップにおいて蒸発する燃料種として選択し、前記複数の燃料種の前記物性値を求め、当該物性値を用いて前記ステップ 3 において、前記時間ステップ毎に前記液滴径変化と前記温度変化を解析することが好適である。

40

【 0 0 1 9 】

また、前記ステップ 3 における前記解析の結果として前記燃料液滴の液滴径が所定の値となるまで前記ステップ 2 と前記ステップ 3 を繰り返すことが好適である。

【 0 0 2 0 】

また、前記ステップ 4 における前記液滴径変化と前記温度変化の結果は、前記蒸発過程

50

を時間分割した前記時間ステップ毎における前記燃料液滴の液滴径と温度として出力されることが好適である。

【0021】

請求項9に記載の燃料噴射制御システムは、燃料の蒸発過程において使用される物性値を分子量の関数として表して扱うことができる物質の分子構造に基づいて分類されるグループである燃料種について複数の燃料種を混合させた燃料の蒸発過程解析手段であって、前記燃料の蒸発時の液体燃料分子量、前記蒸発時に液体として残っている前記燃料の平均の分子量を示す液体燃料平均分子量及び前記蒸発時において蒸発後の前記燃料の平均の分子量を示す気体燃料平均分子量に基づいて蒸発過程において時々刻々と変化する前記複数の燃料種毎の前記物性値を、前記分子量の関数としての前記物性値を基に推算し、前記物性値を用いて燃料液滴の前記蒸発過程における液滴径変化と温度変化を解析する蒸発過程解析手段を備え、前記蒸発過程解析手段によって得られた解析結果を用いて燃焼機関における前記燃料の燃料噴射時期を制御することを特徴とする。

10

【0022】

ここで、前記燃焼機関がディーゼルエンジンであることが好適である。

【発明の効果】

【0023】

本発明の燃料の蒸発過程解析方法によれば、燃料の蒸発過程において使用される物性値を分子量の関数として表して扱うことができる物質の分子構造に基づいて分類されるグループである燃料種について複数の燃料種を混合させた燃料の蒸発過程解析方法であって、前記燃料の蒸発時の液体燃料分子量、前記蒸発時に液体として残っている前記燃料の平均の分子量を示す液体燃料平均分子量及び前記蒸発時において蒸発後の前記燃料の平均の分子量を示す気体燃料平均分子量に基づいて蒸発過程において時々刻々と変化する前記複数の燃料種毎の前記物性値を、前記分子量の関数としての前記物性値を基に推算し、前記物性値を用いて燃料液滴の前記蒸発過程における液滴径変化と温度変化を解析することによって、多種の燃料種を含む燃料について高い精度の蒸発過程の予測ができる。

20

【0024】

ここで、前記液体燃料分子量、前記液体燃料平均分子量及び前記気体燃料平均分子量に基づいて、前記複数の燃料種毎に取得したデータから前記燃料の蒸発に関わる前記複数の燃料種毎の前記物性値を推算することによって、前記液体燃料分子量、前記液体燃料平均分子量及び前記気体燃料平均分子量によって変化する前記物性値を考慮して多種の燃料種を含む燃料について高い精度の蒸発過程の予測ができる。

30

【0025】

また、前記燃料液滴の初期条件と前記燃料液滴に含まれる前記複数の燃料種の混合割合に応じて前記蒸発過程を時間分割した時間ステップ毎に、選択される割合が前記燃料液滴における前記複数の燃料種の前記混合割合となるように、前記複数の燃料種のうち1つを当該時間ステップにおいて蒸発する燃料種として選択し、前記複数の燃料種毎の前記物性値を求め、当該物性値を用いて前記時間ステップ毎に前記液滴径変化と前記温度変化を解析することによって、前記時間ステップ毎（時々刻々）に変化する前記燃料種の前記物性値を考慮して多種の燃料種を含む燃料について高い精度の蒸発過程の予測ができる。特に、蒸発過程全体として前記燃料液滴に含まれる前記複数の燃料種の割合に応じて多種の燃料種を含む燃料について高い精度の蒸発過程の予測ができる。

40

【0028】

本発明の燃料の蒸発過程解析プログラムによれば、コンピュータによって、燃料の蒸発過程において使用される物性値を分子量の関数として表して扱うことができる物質の分子構造に基づいて分類されるグループである燃料種について複数の燃料種を混合させた燃料の蒸発過程を解析する蒸発過程解析プログラムであって、前記燃料の蒸発時の液体燃料分子量、前記蒸発時に液体として残っている前記燃料の平均の分子量を示す液体燃料平均分子量及び前記蒸発時において蒸発後の前記燃料の平均の分子量を示す気体燃料平均分子量を取得するステップ1と、前記液体燃料分子量、前記液体燃料平均分子量及び前記気体燃

50

料平均分子量に基づいて前記蒸発過程において時々刻々と変化する前記複数の燃料種毎の前記物性値を、前記分子量の関数としての前記物性値を基に推算するステップ2と、前記物性値を用いて前記蒸発過程における燃料液滴の液滴径変化と温度変化を解析するステップ3と、前記液滴径変化と前記温度変化の結果を出力するステップ4と、を備えることによって、多種の燃料種を含む燃料について高い精度の蒸発過程の予測ができる。

【0029】

ここで、前記ステップ2において、前記液体燃料分子量、前記液体燃料平均分子量及び前記気体燃料平均分子量に基づいて、前記複数の燃料種毎に取得したデータから前記燃料の蒸発に関わる前記複数の燃料種毎の前記物性値を推算することによって、前記液体燃料分子量、前記液体燃料平均分子量及び前記気体燃料平均分子量によって変化する前記物性値を考慮して多種の燃料種を含む燃料について高い精度の蒸発過程の予測ができる。

【0030】

また、前記ステップ2において、前記燃料液滴の初期条件と前記燃料液滴に含まれる前記複数の燃料種の混合割合に応じて前記蒸発過程を時間分割した時間ステップ毎に、選択される割合が前記燃料液滴における前記複数の燃料種の前記混合割合となるように、前記複数の燃料種のうち1つを当該時間ステップにおいて蒸発する燃料種として選択し、前記複数の燃料種の前記物性値を求め、当該物性値を用いて前記ステップ3において、前記時間ステップ毎に前記液滴径変化と前記温度変化を解析することによって、前記時間ステップ毎(時々刻々)に変化する前記燃料種の前記物性値を考慮して多種の燃料種を含む燃料について高い精度の蒸発過程の予測ができる。特に、蒸発過程全体として前記燃料液滴に含まれる前記複数の燃料種の割合に応じて多種の燃料種を含む燃料について高い精度の蒸発過程の予測ができる。

【0033】

また、前記ステップ3における前記解析の結果として前記燃料液滴の液滴径が所定の値となるまで前記ステップ2と前記ステップ3を繰り返すことによって、前記燃料液滴の径が十分に小さくなるまで多種の燃料種を含む燃料について高い精度の蒸発過程の予測ができる。

【0034】

また、前記ステップ4における前記液滴径変化と前記温度変化の結果は、前記蒸発過程を時間分割した前記時間ステップ毎における前記燃料液滴の液滴径と温度として出力されることによって、多種の燃料種を含む燃料について高い精度の蒸発過程における前記燃料液滴の径及び温度の時間変化を提示することができる。

【0035】

本発明の燃料噴射制御システムによれば、燃料の蒸発過程において使用される物性値を分子量の関数として表して扱うことができる物質の分子構造に基づいて分類されるグループである燃料種について複数の燃料種を混合させた燃料の蒸発過程解析手段であって、前記燃料の蒸発時の液体燃料分子量、前記蒸発時に液体として残っている前記燃料の平均の分子量を示す液体燃料平均分子量及び前記蒸発時において蒸発後の前記燃料の平均の分子量を示す気体燃料平均分子量に基づいて蒸発過程において時々刻々と変化する前記複数の燃料種毎の前記物性値を、前記分子量の関数としての前記物性値を基に推算し、前記物性値を用いて燃料液滴の前記蒸発過程における液滴径変化と温度変化を解析する蒸発過程解析手段を備え、前記蒸発過程解析手段によって得られた解析結果を用いて燃焼機関における前記燃料の燃料噴射時期を制御することによって、前記燃焼機関における着火遅れ等の予測に基づいて前記燃焼機関において適切な燃焼となるように制御することができる。特に、前記燃焼機関がディーゼルエンジンである場合に本発明の効果は顕著となる。

【図面の簡単な説明】

【0036】

【図1】本発明の実施の形態における燃料の蒸発過程解析装置の構成を示す図である。

【図2】本発明の実施の形態における燃料の蒸発過程解析方法を示すフローチャートである。

10

20

30

40

50

【図3】本発明の実施の形態における燃料液滴モデルを示す図である。

【図4】本発明の実施の形態における燃料の蒸発解析結果と実験結果との比較を示す図である。

【図5】本発明の実施の形態における複数の燃料種の液滴径及び温度変化についての解析結果を示す図である。

【図6】本発明の実施の形態における着火遅れ、蒸発時間の比とセタン指数の関係及び液滴温度を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0037】

本発明の実施の形態における燃料の蒸発過程解析装置100は、図1に示すように、処理部10、記憶部12、入力部14、出力部16及び通信部18を含むコンピュータから構成される。 10

【0038】

処理部10は、CPU等の演算処理を行う手段を含む。処理部10は、記憶部12に記憶されている蒸発過程解析プログラムを実行することによって、本実施の形態における燃料の蒸発過程を解析する機能を実現する。記憶部12は、半導体メモリやメモリカード等の記憶手段を含む。記憶部12は、処理部10とアクセス可能に接続され、蒸発過程解析プログラム、その実行に必要な情報（データ、パラメータ等）を記憶する。入力部14は、情報を入力する手段を含む。入力部14は、例えば、解析担当者からの入力を受けるキーボード、タッチパネル、ボタン等を備える。出力部16は、解析担当者に対して解析結果を出力する手段を含む。出力部16は、例えば、画像を表示するディスプレイを備える。通信部18は、情報通信網102を介して、蒸発過程の解析に必要な情報を取得又は解析途中の情報や解析結果を出力するインターフェースを含んで構成される。通信部18による通信は有線及び無線を問わない。 20

【0039】

本実施の形態では、複数の燃料種を混合させた燃料の蒸発過程の解析を行う。より具体的には、複数の燃料種を含む燃料の液滴（燃料液滴）の蒸発過程を時間ステップに分割し、蒸発過程において時々刻々と変化する複数の燃料種毎の物性値を用いて各時刻ステップにおける燃料液滴の径、温度及び速度の変化を解析する。 30

【0040】

ここで、燃料種とは、燃料の蒸発過程において使用される物性値（臨界温度、臨界圧力、臨界容積等）を分子量の関数として表すことができるものとして扱うことができる物質のグループを意味する。燃料の蒸発過程における物性値は物質の分子構造によって異なるので、燃料種は物質の分子構造に基づいて分類できると考えられる。例えば、石油系燃料である分解軽油（LCO）では、第1の燃料種として飽和系炭化水素及びオレフィン系炭化水素、第2の燃料種として一環芳香族炭化水素、並びに第3の燃料種として二環芳香族炭化水素及び三環芳香族炭化水素とすることが好適である。 30

【0041】

以下、図2のフローチャートを参照して、本実施の形態における燃料の蒸発過程の解析処理について説明する。 40

【0042】

ステップS10では、解析のための初期設定が行われる。初期設定では、解析に必要な情報（データ、パラメータ等）の読み込みが行われる。

【0043】

本実施の形態では、燃料を構成する燃料種（物質）毎の物性値が読み込まれる。具体的には、燃料種毎の臨界温度、臨界圧力、臨界容積、標準沸点、標準沸点における蒸発潜熱を設定し、これらの物性値を燃料種の分子量の関数として記憶部12に記憶させる。物性値は、例えば、R・C・リード、J・M・ブラウズニッツ、T・K・シャーウッド：気体、液体の物性ハンドブック第3版、マグロウヒル、昭和60年等の物性データバンクの値に基づいて設定すればよい。 50

【 0 0 4 4 】

また、燃料の液滴についての物性値推定モデルにしたがって予め推定された燃料の分子量 M_{wi} 、液体燃料平均分子量 M_{wl} 、気体燃料平均分子量 M_{wg} 及び液体密度 ρ_l が読み込まれる。

【 0 0 4 5 】

ここでは、図 3 に示すように、燃料液滴を半径方向に n 個に分割し、燃料蒸発時において燃料液滴が各半径であるときの燃料の分子量 M_{wi} 、液体燃料平均分子量 M_{wl} 、気体燃料平均分子量 M_{wg} 及び液体密度 ρ_l を読み込む。すなわち、燃料蒸発時における蒸発後（気体燃料：半径 $1 \sim i$ ）の平均分子量 M_{wg} 、蒸発前（液体燃料：半径 $i + 1 \sim n$ ）の平均分子量 M_{wl} 、蒸発する燃料分子量 M_{wi} 、及び液体密度 ρ_l が読み込まれる。これらの値は、Bardonらの方法（Bardon, M. F., et. al. Estimating Instantaneous Properties of Vaporizing Light Petroleum Fractions, Combustion and Flame, 84(1991), pp.427-431）等の既存の方法によって求めることができる。この方法では、燃料性状の分析結果として広く計測されている蒸留曲線と密度（ 15°C ）を用い、この値からの推定を行っている。解析によって得られた燃料の分子量 M_{wi} 、液体燃料平均分子量 M_{wl} 、気体燃料平均分子量 M_{wg} 及び液体密度 ρ_l が燃料液滴の半径に対して離散的な値となっている場合には、補間処理等によって蒸発率（蒸発した燃料の質量 / 初期液滴質量 = (初期液滴質量 - 現在の液滴質量) / 初期液滴質量）の関数として連続的な関数に置き換えて記憶部 12 に記憶させることが好適である。

【 0 0 4 6 】

ステップ S 12 では、複数の燃料種の混合比（混合割合）が設定される。燃料種の混合比は、例えば入力部 14 を用いて解析担当者が入力するようにしてもよいし、通信部 18 を介して外部から設定されるようにしてもよい。例えば、石油系燃料である分解軽油（LCO）を解析対象とした場合、第 1 の燃料種である飽和系炭化水素及びオレフィン系炭化水素が $a\%$ （容積率）、第 2 の燃料種である一環芳香族炭化水素が $b\%$ （容積率）、第 3 の燃料種である二環芳香族炭化水素及び三環芳香族炭化水素が $(100 - a - b)\%$ （容積率）と設定される。

【 0 0 4 7 】

なお、飽和系炭化水素、オレフィン系炭化水素、一環芳香族炭化水素、二環芳香族炭化水素及び三環芳香族炭化水素を個別に、第 1 から第 5 の燃料種として扱うこともできる。

【 0 0 4 8 】

ステップ S 14 では、燃料液滴の初期条件が設定される。燃料液滴の初期条件として、液滴の径の初期値 d_{p0} 、液滴の温度の初期値 T_{l0} 、液滴の質量の初期値 m_{l0} が設定される。また、燃料液滴が空気中を飛翔している状態を想定して液滴の速度の初期値 u_{p0} が設定される。さらに、蒸発率の初期値として 0（まったく蒸発していない状態）が設定される。また、周囲（空気）温度及び周囲圧力も設定される。これらの初期値は、例えば入力部 14 を用いて解析担当者が入力するようにしてもよいし、通信部 18 を介して外部から設定されるようにしてもよい。設定された初期条件は記憶部 12 に記憶される。

【 0 0 4 9 】

ステップ S 16 では、燃料の蒸発過程の解析における時間ステップの初期設定が行われる。以下に説明する解析では、燃料の蒸発過程を時間ステップに分割し、時間ステップ毎に燃料液滴の径、温度及び速度を算出する処理を行う。そこで、当該ステップでは、時間ステップの初期値 t_{s0} が設定される。

【 0 0 5 0 】

ステップ S 18 では、燃料の蒸発過程の解析を行う際に使用する乱数を発生させる。ここでは、0 ~ 1 の数値範囲内において一様の確率で乱数 r を発生させる。

【 0 0 5 1 】

ステップ S 20 では、燃料を構成する燃料種から現在の時間ステップにおいて蒸発する燃料種を 1 つ選択する処理が行われる。本実施の形態では、乱数 r を用いて蒸発過程の解析全体において燃料種を選択率が燃料種の混合比に一致するように選択処理が行われる。

例えば、石油系燃料である分解軽油（LCO）を解析対象とした場合、乱数 r が条件 $r < a$ を満たす場合に第 1 の燃料種である飽和系炭化水素及びオレフィン系炭化水素が選択される。また、乱数 r が条件 $a < r < (a + b)$ を満たす場合に第 2 の燃料種である一環芳香族炭化水素が選択される。さらに、乱数 r が条件 $(a + b) < r$ の場合に第 3 の燃料種である二環芳香族炭化水素及び三環芳香族炭化水素が選択される。

【0052】

このように乱数 r を用いて現在の時間ステップにおいて蒸発する燃料種を選択することによって、燃料の蒸発過程全体で見れば燃料中に各燃料種がそれぞれ設定された混合比（混合割合）で含まれることを保証することができる。

【0053】

ステップ S 2 2 では、蒸発の解析に使用する物性値が設定される。現在の時間ステップにおける燃料の分子量 M_{wi} 、液体燃料平均分子量 M_{wL} 、気体燃料平均分子量 M_{wG} 及び液体密度 ρ_L を求める。具体的には、ステップ S 1 0 において蒸発率を引数とした燃料の分子量 M_{wi} 、液体燃料平均分子量 M_{wL} 、気体燃料平均分子量 M_{wG} 及び液体密度 ρ_L の関数に現在の時間ステップにおける蒸発率を代入して現在の時間ステップにおける燃料の分子量 M_{wi} 、液体燃料平均分子量 M_{wL} 、気体燃料平均分子量 M_{wG} 及び液体密度 ρ_L を求める。

【0054】

また、ステップ S 2 0 で選択された燃料種について、上記処理にて求められた現在の時間ステップにおいて蒸発する燃料の分子量 M_{wi} 、液体燃料平均分子量 M_{wL} 、気体燃料平均分子量 M_{wG} 及び液体密度 ρ_L から現在の時間ステップにおいて蒸発する燃料、気体燃料の臨界値（臨界温度、臨界圧力、臨界容積）、液体燃料の臨界値（臨界温度、臨界圧力、臨界容積）、標準沸点、及び標準沸点における蒸発潜熱が求められる。

【0055】

さらに、燃料種、燃料液滴の温度、周囲（空気）の温度及び圧力を用いて各物性値を推算する。推算する物性値は、周囲（空気）気体の熱容量、粘性係数、熱伝導率、気体燃料の熱容量、粘性係数、熱伝導率、拡散係数、液体燃料の密度、熱容量、気体 - 液体境界における蒸発潜熱、飽和蒸気圧である。なお、気体の空気と燃料との混合物の物性値（密度、熱容量、粘性係数、熱伝導率）は、周囲（空気）気体と燃料との混合則から求められる。また、液滴の飛翔計算に必要な抗力係数も算出される。これらの物性値は従来の推算方法により求めることができる。

【0056】

ステップ S 2 4 では、燃料液滴の径及び温度の変化が計算される。ステップ S 2 2 までの処理にて燃料液滴の径及び温度を算出するための物性値が得られるので、これらの物性値を蒸発モデルに当て嵌めて現在の時間ステップにおける燃料液滴の径及び温度が算出される。当該ステップでは、燃料液滴からステップ S 2 0 で選択された燃料種のみが蒸発するものとして処理が行われる。すなわち、ステップ S 2 2 において選択された燃料種について得られた各物性値を用いて現在の時間ステップにおける燃料液滴からの蒸発過程の解析を行う。

【0057】

蒸発モデルは、特に限定されるものではないが、例えば Spalding の式、修正 Spalding の式、El-Wakil の式等が挙げられる。ここでは、一例として、Spalding の式を示す。これらの蒸発モデルを用いた燃料液滴の径及び温度の算出処理には、従来の微分方程式の解法アルゴリズム等を適用すればよい。

【数 1】

$$\frac{dm}{dt} = \pi d_p (\rho D)_f Sh_0 \ln(1 + B_M)$$

10

20

30

40

【数 2】

$$\frac{dT_L}{dt} = \frac{6\lambda_f Nu_0}{\rho_d d_p^2 C_{pd}} (T_\infty - T_L) \frac{\ln(1+B_M)}{B_M} + \frac{3}{d_p C_{pd}} H_L \frac{dd_p}{dt}$$

【数 3】

$$B_M = \frac{Y_{Ws} - Y_{W\infty}}{1 - Y_{Ws}}$$

【0058】

ここで、 m は液滴質量 [kg]、 d_p は液滴直径 [m]、 ρ_d は密度 [kg/m³]、 D は拡散係数 [m²/s]、 Sh はシャーウッド数、 T_L は液滴温度 [K]、 λ は熱伝導率 [W/mK]、 Nu_0 はヌッセルト数、 C_p は定圧比熱 [J/kgK]、 H_L は蒸発潜熱 [J/kg]、 B_M はSpaldingのトランスファー数、 Y_{Ws} は燃料蒸気の質量分率である。また、添字の f は周囲 (空気)、 d は液滴、 s は液滴表面、 f は film 内を表す。ここで film とは液滴表面と空気との間の熱と物質交換に対して設けられた一定の厚み (境界層) である。 Sh 数と Nu 数は Ranz - Marshall の式等を用いて求めることができる。

【0059】

また、物性値を液体の飛翔モデルに当て嵌めて燃料液滴の速度が計算される。燃料は、ノズルから空間に噴射され、飛翔しながら蒸発・分解していくため、この液滴の運動方程式を用いて速度を計算することができる。

【0060】

以下に、液滴の運動方程式の一例を示す。ここでは、燃料液滴の形状は球を仮定し、液滴にかかる力として抗力のみを考慮している。

【数 4】

$$\frac{du_p}{dt} = \frac{3\rho_f(u_a - u_p)U_{rel}C_D}{4\rho_d d_p}$$

$$C_D = \begin{cases} \frac{24}{Re_d} \left(1.0 + \frac{Re_d^{2/3}}{6} \right) & Re_d \leq 1000 \\ 0.424 & Re_d > 1000 \end{cases}$$

$$U_a = \frac{6.3}{x/d_0} U_0$$

【0061】

ここで、 u_p は液滴速度、 u_a は雰囲気速度、 U_{rel} は相対速度、 C_D は抗力係数、 Re_d は液滴直径を代表長さにしたレイノルズ数である。なお、気相速度は、軸対称噴流における実験結果から得られた噴流中心速度を与える。また、 d_0 は噴孔径、 U_0 は噴孔流出速度である。

【0062】

燃料液滴の径が求められると、液滴の密度に基づいて燃料液滴の質量を求めることができる。さらに、燃料液滴の蒸発率が求められる。

【0063】

ステップ S 2 6 では、燃料の蒸発過程の解析処理を終了するか否かが判定される。本実施の形態では、ステップ S 2 4 において算出された燃料液滴の径 d_d がその初期値 d_{d0} に対して所定の割合以下になった場合に解析処理を終了する。例えば、燃料液滴の径 d_d がその初期値 d_{d0} の 1 0 % 以下となった場合には、解析処理を終了してステップ S 2 8 に処理を移行させ、そうでない場合には、ステップ S 3 0 にて時刻ステップを t だけ進めてステップ S 1 8 から次の時間ステップの解析を行う。

【 0 0 6 4 】

ステップ S 2 8 では、燃料の蒸発過程の解析結果が示される。出力部 1 6 に対して、各時間ステップに対して算出された燃料液滴の径、温度及び速度が出力される。

【 0 0 6 5 】

図 4 は、本実施の形態における静止場での単一液滴の蒸発の解析結果と実験結果との比較を示す。燃料はヘキサデカンと軽油とし、雰囲気条件は温度 7 7 3 K、大気圧とした。ヘキサデカン及び軽油とも液滴径及び温度の変化について解析結果と実験結果はよく一致し、解析結果は実験結果をよく再現した。液滴温度は、ヘキサデカンでは解析開始の 1 . 0 s 後付近から入熱量と潜熱、顕熱がバランスして一定になっているが、軽油では、温度が上昇している様子が再現できた。これより、本蒸発モデルが実際の燃料の予測、検討に有効であることが確認できた。

【 0 0 6 6 】

図 5 は、雰囲気圧力 4 . 9 M P a、温度 9 1 0 K、液滴の速度の初期値 u_{d0} が 1 1 5 m / s、液滴の径の初期値 d_{d0} が 2 5 μ m での 5 種類の分解軽油 (L C O) と軽油の蒸発時における液滴径、温度変化を示す。どの燃料も液滴温度は一定にならず、上昇し続けるという結果が得られた。蒸発速度が速い燃料でも温度上昇率が大きいとは限らないのは、燃料物性の影響と考えられる。

【 0 0 6 7 】

図 6 は、1 3 種類の L C O に対して、実験で計測された着火遅れ t_{ign} と蒸発時間の比とセタン指数の関係及びその時の液滴温度を示す。蒸発時間は、液滴体積が初期液滴体積の 5 % になった時の時間 $t_{5\%}$ 、液滴温度はその時の温度 $T_{5\%}$ である。セタン指数が小さい時には、液滴温度は低い傾向にあり、そして着火遅れに及ぼす蒸発の影響が小さくなることがわかった。すなわち、今回用いた L C O では着火性の低下は相対的に蒸発の影響より、反応による影響の方が大きいと推定できる。

【 0 0 6 8 】

上記のように、本実施の形態における燃料の蒸発過程解析方法及び蒸発過程解析プログラムは燃料特性評価に使用することができる。すなわち、燃焼機関において適切な燃焼を生じさせるためには、燃料の燃焼特性を正確に知る必要があるが、そのためには使用している液体燃料の蒸発過程の正しい理解が必要である。蒸発特性が悪い燃料は着火性も同時に劣ることが多いので、そのような燃料の判定に用いることができる。

【 0 0 6 9 】

また、燃料の蒸発は燃料が着火する前に必要な燃料気体と空気との混合気を作るための必須の過程である。ディーゼルエンジン等の燃焼機関では、混合気の生成によって即着火が生じると仮定することが多く、このような仮定の下での燃焼機関の制御を行うとすれば、燃料の蒸発に必要な時間等の蒸発特性を予測することが必要となる。すなわち、本実施の形態における燃料の蒸発過程解析方法及び蒸発過程解析プログラムによれば、燃料の蒸発に関する特性を把握することが可能となり、その情報に基づいて燃料噴射等の制御を行う燃料噴射制御システムを実現することができる。

【 0 0 7 0 】

例えば、複数の燃料種を混合させた燃料として、残渣油に粘度調整のために若干の軽質油を混合した C 重油のブレンド率が変わった場合に、蒸発特性を予測して燃料噴射制御システムにおける燃料の噴射時期、噴射量等を変えることができる。燃料の噴射時期、噴射量等を変えるに当たっては、予め燃料毎の蒸発特性を解析し噴射時期、噴射量等との対応付けをしてデータとして保有しておいて、燃料の変更を情報として燃料噴射制御システム

10

20

30

40

50

に入力して噴射時期、噴射量等を変更する。噴射時期、噴射量等の変更は、制御装置の制御に従って燃料噴射弁により行われる。また、燃料の変更をリアルタイムで検出し、制御装置で蒸発特性を解析し、噴射時期、噴射量等を変更することもできる。なお、燃料噴射制御システムとして、複数の燃料種を混合させた燃料を複数用いる複数燃料噴射制御システムへの適用も可能である。

【産業上の利用可能性】

【0071】

以上の実施形態は、重油系や低着火性の燃料のみならず、複数の燃料種を混合させた燃料の蒸発過程の解析に適用することができる。また、船舶用のディーゼル機関における燃料の燃焼過程の解析に適用することができるがこれに限定されるものではなく、他の移動体、例えば鉄道車両、自動車等の内燃機関についても適用することができる。

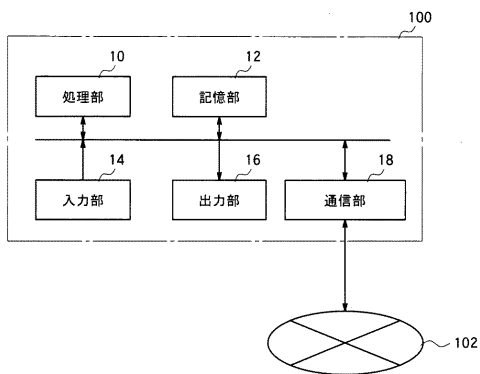
10

【符号の説明】

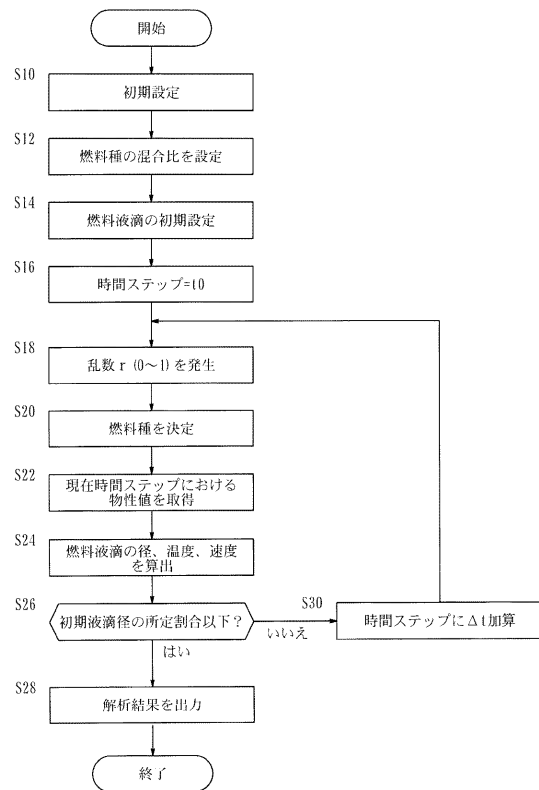
【0072】

10 処理部、12 記憶部、14 入力部、16 出力部、18 通信部、100 蒸発過程解析装置、102 情報通信網。

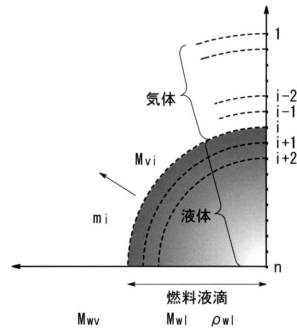
【図1】



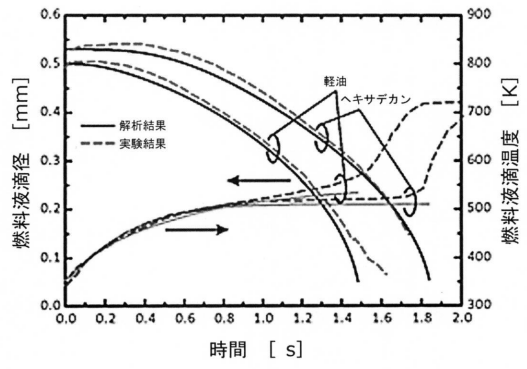
【図2】



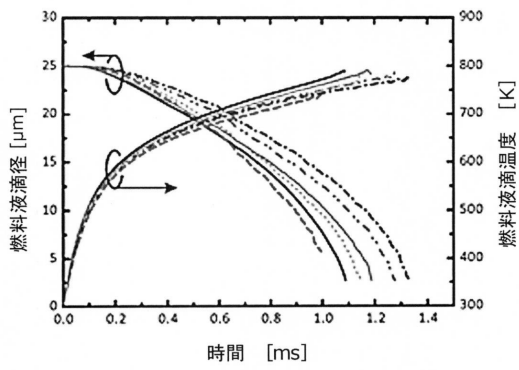
【 図 3 】



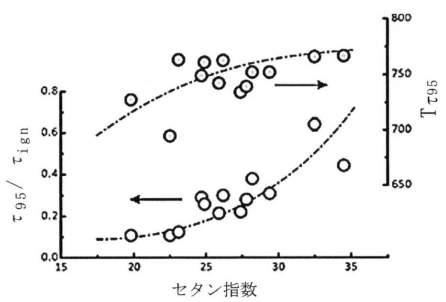
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 今井 康雄

東京都三鷹市新川6丁目38番1号 国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所内

審査官 松永 謙一

(56)参考文献 特開2001-050070(JP,A)

特開2004-027911(JP,A)

国際公開第2010/101293(WO,A1)

特開平7-34894(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F02D 1/00-45/00

F02M 1/00-99/00

C10L 1/00-1/32