

エンジン・燃料基礎、CN-fuel基礎と ETS Renewablaze Nihon R100を用いた場合の エンジンチューニングの注目点解説

Motolity

技術部 部長：岡山 紳一郎

目次

1. エンジンの基礎（ガソリンエンジン）
2. ガソリンの基礎
3. CN-fuelとは
4. ETS Renewablaze Nihon R100について
5. エンジンチューニングのポイント

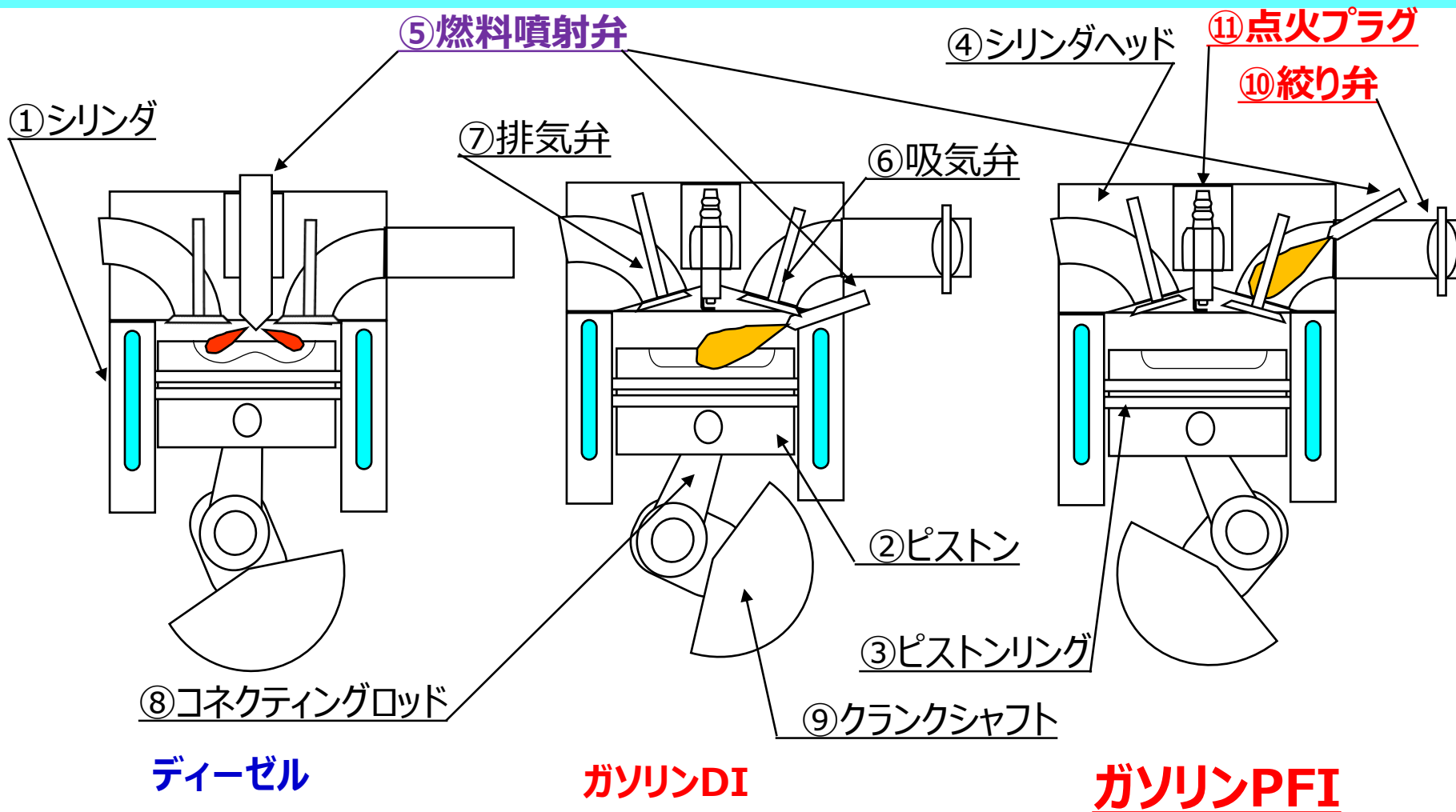
注：カーボンニュートラル燃料(CN-fuel)：合成燃料、Carbon Offset fuel、e-fuelとも呼ばれるが、日本で一般的に用いられるカーボンニュートラル燃料（CN-fuel）と記す。

目次

1. エンジンの基礎 (ガソリンエンジン)
2. ガソリンの基礎
3. CN-fuelとは
4. ETS Renewablaze Nihon R100について
5. エンジンチューニングのポイント

ガソリン&ディーゼルエンジンの基本構造

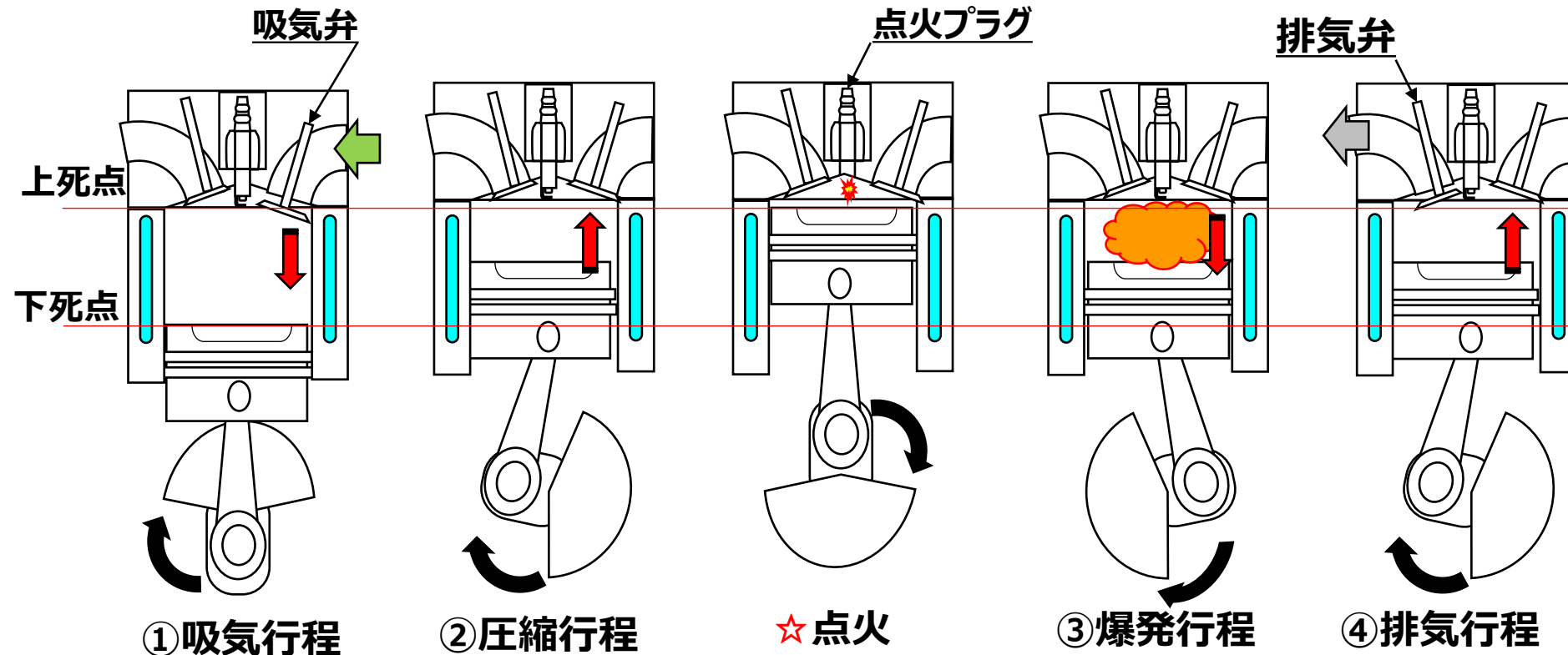
- ディーゼルエンジン、ガソリンDI(Direct Injection)、ガソリンPFI(Port Fuel Injection)の基本部品構造。
- 点火プラグ、絞り弁、燃料噴射弁の違いに注目。**エコマイルレッジ用はガソリンPFI。**



出典：岡山、大気環境学会誌 第54巻第3号（2019）、入門講座、P.A43から改変

ガソリンエンジンの作動行程

- 4サイクルエンジンの4行程：①吸入、②圧縮、③爆発、④排気。
- エンジン2回転で4行程が完了する。
- PFI(Port Fuel Injection)は空気と燃料の**混合気**を吸入。
- DI(Direct Injection)は**空気のみ**を吸入し、圧縮行程で燃料を噴射し、混合気を形成。
- **上死点**近傍で、点火プラグで**点火**し、予混合燃焼(火炎伝播燃焼)。

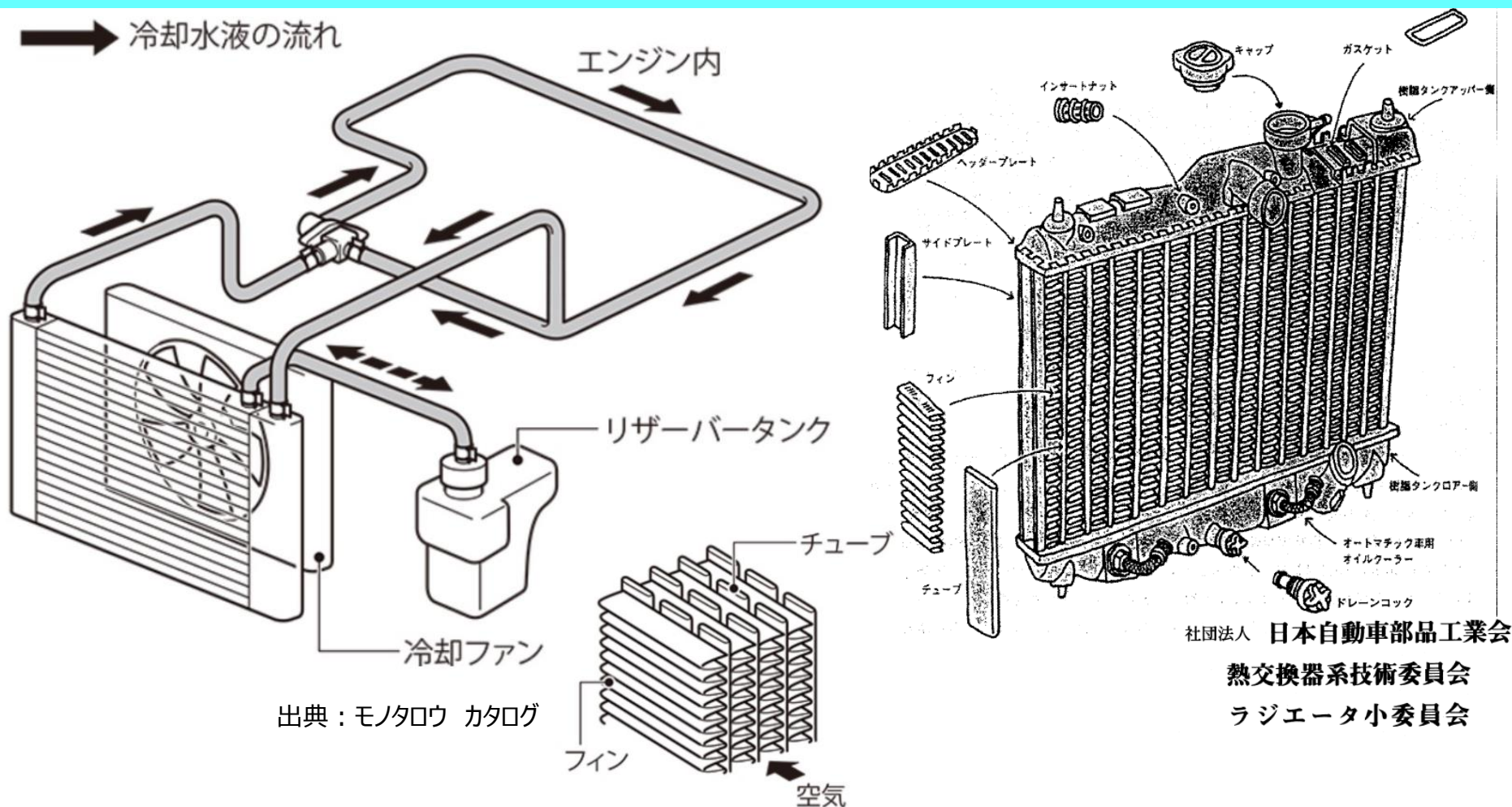


出典：岡山、大気環境学会誌 第54巻第3号（2019）、入門講座、P.A43から改変

エンジンの冷却システム

※冷却能力を上げるには：

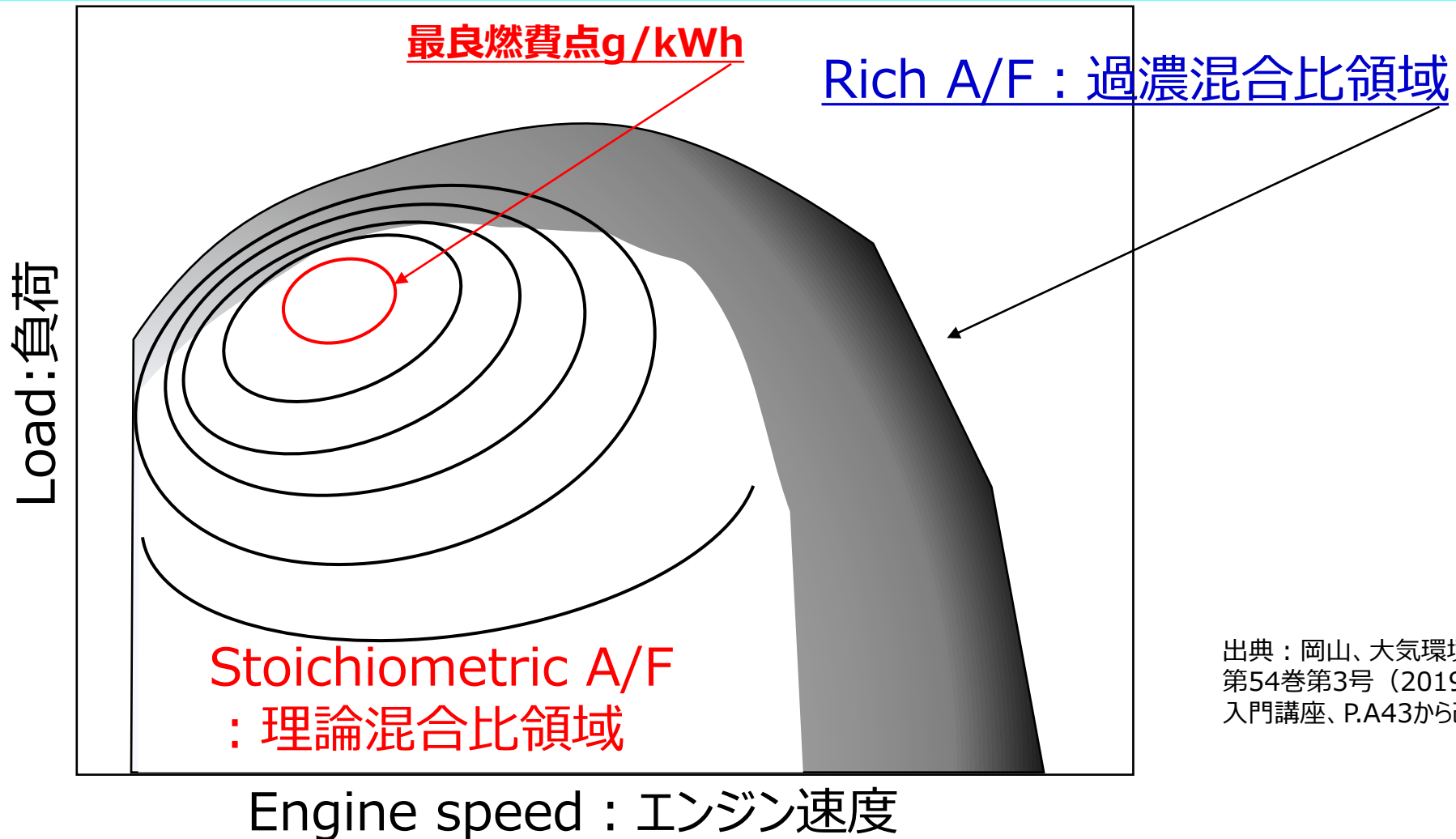
- ①ラジエータの投影面積を拡げる⇒車体に収まらない。
 - ②ラジエータを厚くする⇒低速では冷却風が通過できない。(サーキットレース用は可)
- 苦肉の策⇒ガソリンエンジン特有の混合気冷却 (ガソリンの蒸発潜熱を利用)



出典：モノタロウ カタログ

ガソリンエンジンの運転領域毎の空気・燃料混合比

- ・ガソリンエンジンでは実用運転域の大部分において、**理論混合比**で運転されている。
= 吸入した空気中の酸素を全部使う⇒**排気中には酸素が残っていない**。
- ・**過濃混合比領域**は、理論混合比より余剰となった**燃料の蒸発潜熱**を使って冷却効果向上。



出典：岡山、大気環境学会誌
第54巻第3号（2019）、
入門講座、P.A43から改変

競技車両での冷却不足による異常燃焼でピストン溶損した事例



混合比が薄くなり、異常燃焼が発生。

⇒ピストン温度が上昇して、2ndランド棚落ち。

ピストン冠面にカーボン付着無い。（高温の証拠）

Top ランド



2nd ランド



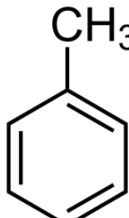
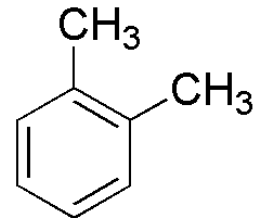
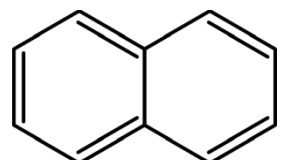
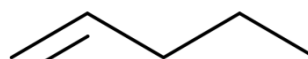
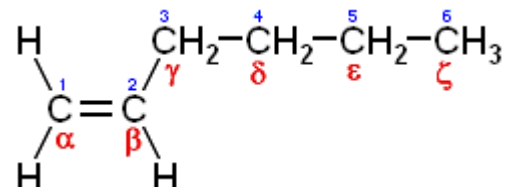
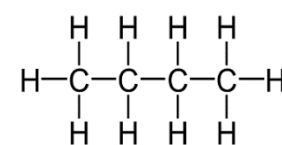
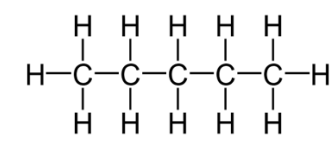

出典：岡山、自技会北海道支部講演会@北見工業大学、2018. 11. 20

目次

1. エンジンの基礎（ガソリンエンジン）
2. ガソリンの基礎
3. CN-fuelとは
4. ETS Renewablaze Nihon R100について
5. エンジンチューニングのポイント

主なガソリン成分の名称と特徴

・ガソリンはアロマ、オレフィン、パラフィン等の基材約270種を混合することで、蒸留特性、オクタン価（RON、MON）等の燃料として必要な性状を調整。

成分区分	←蒸発しやすい 化学記号 蒸発しにくい→	特徴
アロマ	トルエン  キシレン  ナフタレン 	<ul style="list-style-type: none"> ・RON、MON価向上作用 ・オゾンになりやすい ・透過でエバポ ・化学材料で高価で取引
オレフィン (アルケン)	ペンテン  ヘキセン 	<ul style="list-style-type: none"> ・RON価向上作用 ・オゾンになりやすい ・透過でエバポ ・化学材料で、売れない
パラフィン (アルカン)	ブタン (RVP調整用)  ペンタン  ヘキサン 	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸留特性の調整 ・オクタン価低い ・オゾンになりにくい ・破過でエバポ ・化学材料 (安い)

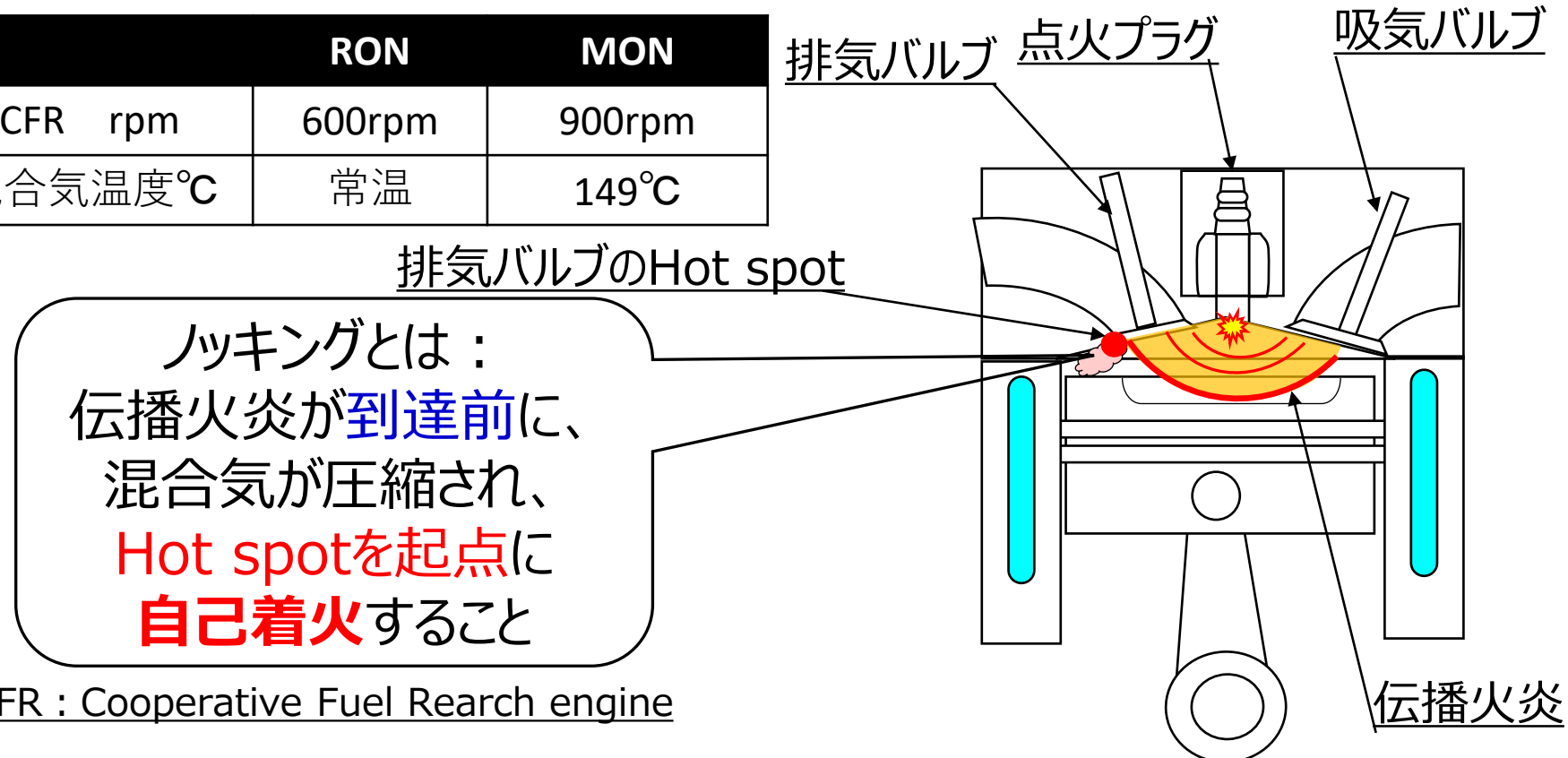
ガソリンエンジンの重要な技術課題：ノッキングとオクタン価（RONとMON）

- ・オクタン価は、可変圧縮比のCFR機関で燃料のノッキングのし難さを評価する。
- ・n-Heptaneを0、iso-Octaneを100とした時の比率。
- ・日本では、ハイオクのRONが100近く、レギュラのRONは90近くにある。

低速ノック対応：RON：Research Octane Number（市販車で重要な指標）

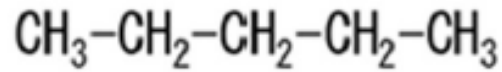
高速ノック対応：MON：Motor Octane Number（競技車両で重要な指標）

		RON	MON
CFR	rpm	600rpm	900rpm
混合気温度°C		常温	149°C

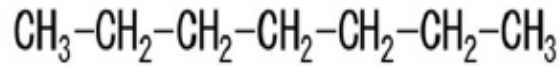


オクタン価 (RON/MON) と主なガソリン成分の関係

- **アロマ**はRONもMONも高い。
- **オレフィン**はRONが高いがMONは低い。
- **n-パラフィン**はRONが低い。
- **i-パラフィン**はRONが高い。
- エタノール、ETBEはRON、MONが**高い**。

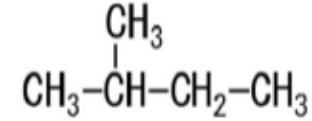


n-ペンタン (RON:61.7 / MON:61.9)



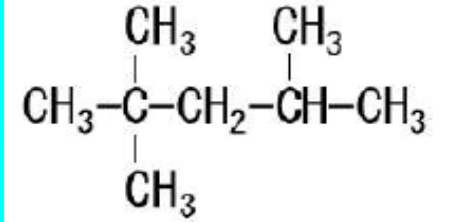
n-ヘプタン

(RON:0)



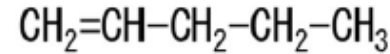
2-メチルブタン (イソペンタン)

(RON:92.3)

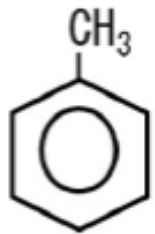


イソオクタン

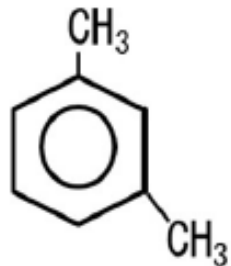
(RON:100)



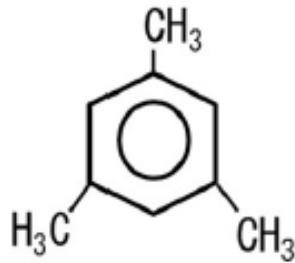
1-ペンテン (RON:90.9 / MON:77.1)



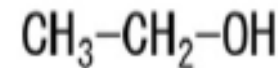
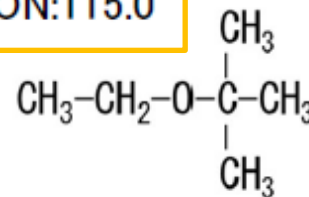
トルエン RON:120.1 / MON:103.5



m-キシレン RON:117.5 / MON:115.0



1,3,5-トリメチルベンゼン RON:>120.3 / MON:120.3



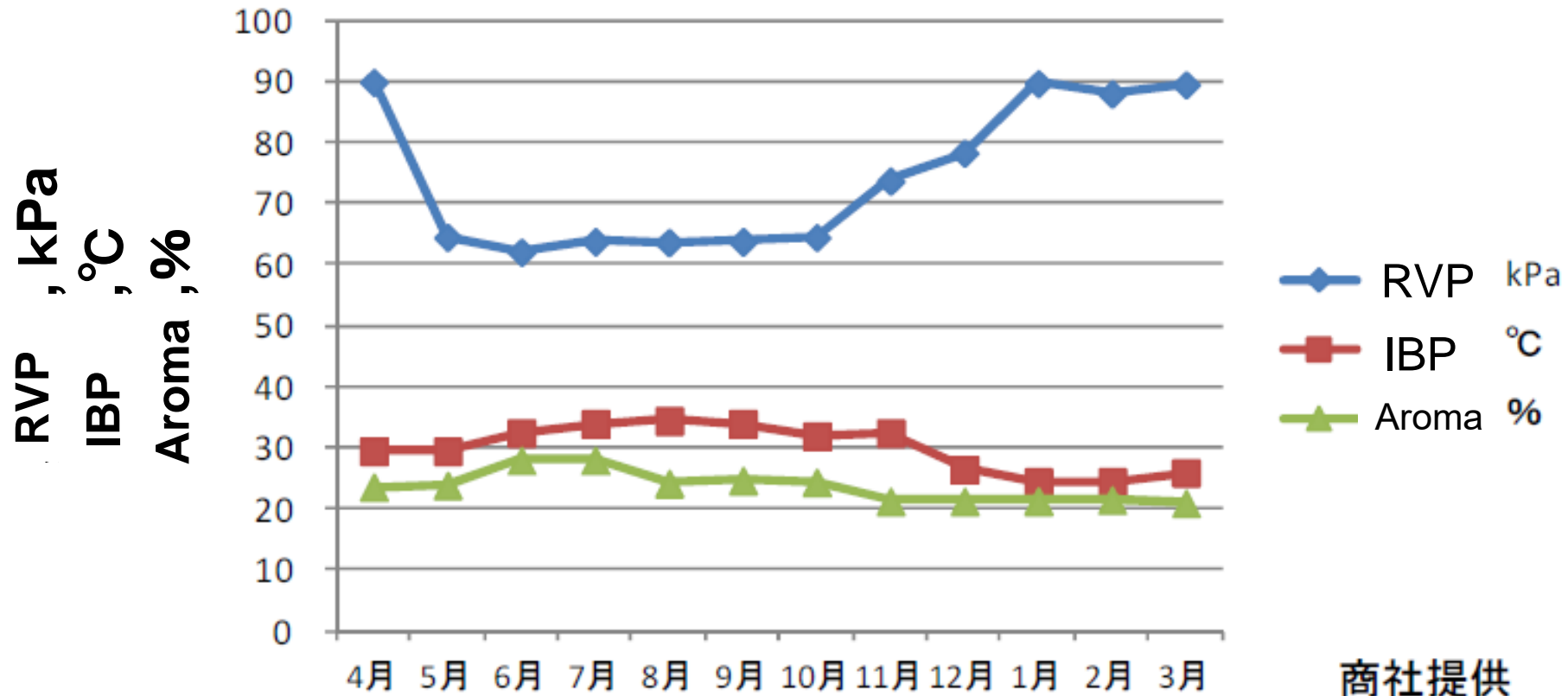
エタノール RON:111 / MON:92

エチルターシャリーブチルエーテル(ETBE) RON:117

/MON:101 12

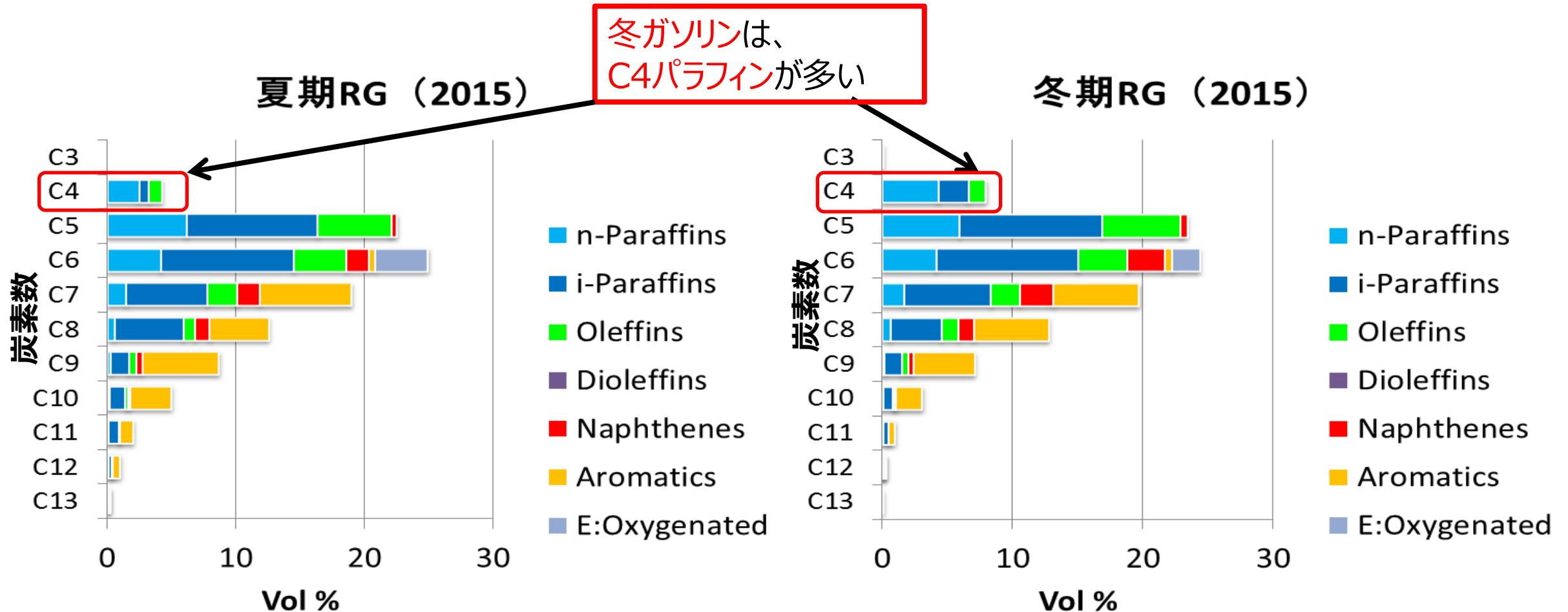
季節毎のガソリン性状（事例）

- 日本の市場ガソリンは、一般的に6～9月が夏ガソリン、それ以外が冬ガソリンの規格で運用されている。RVP（Reid Vapor Pressure）に注目。



冬ガソリンと夏ガソリンの性状（炭素C数毎）

- 夏ガソリンvs冬ガソリン：炭素数4：C4パラフィン（ブタン等）の差。
- 夏ガソリンにブタン等のC4を追加することで、冬ガソリンを作る。
⇒低温時の始動性を確保する。

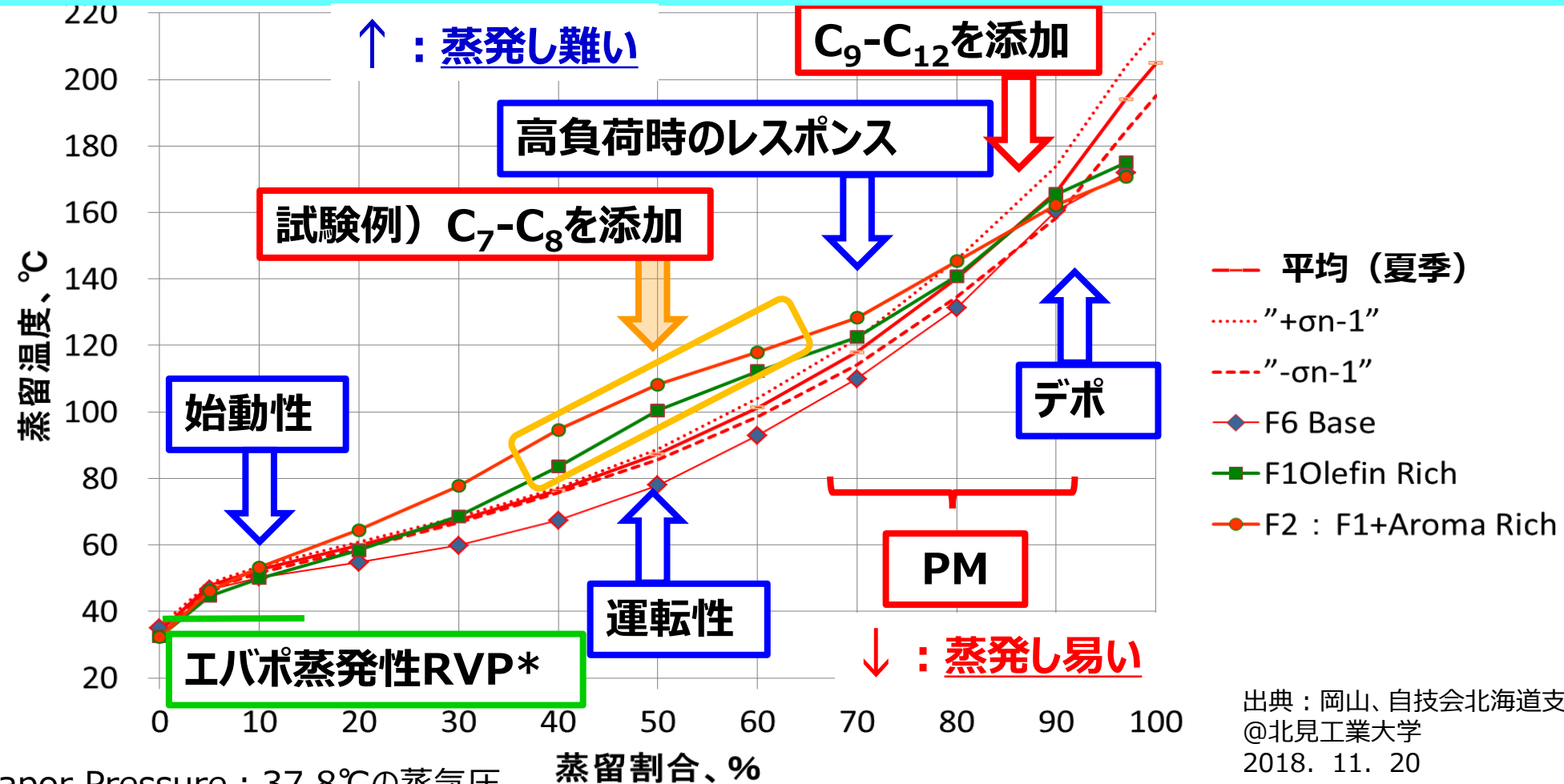


ガソリン蒸留特性とエンジン性能の関係

蒸留特性は、始動性、エバポ、運転性、レスポンス、PM(Particulate Matter：粒子状物質)、デポ等、様々なエンジン性能に影響を及ぼす。

⇒燃料でも、各性能を最大限生かせる方法がある。

☆各種のエンジン性能から見て、**蒸発しやすい燃料**が望ましい！



出典：岡山、自技会北海道支部講演会
@北見工業大学
2018. 11. 20

* : Reid Vapor Pressure : 37.8°Cの蒸気圧

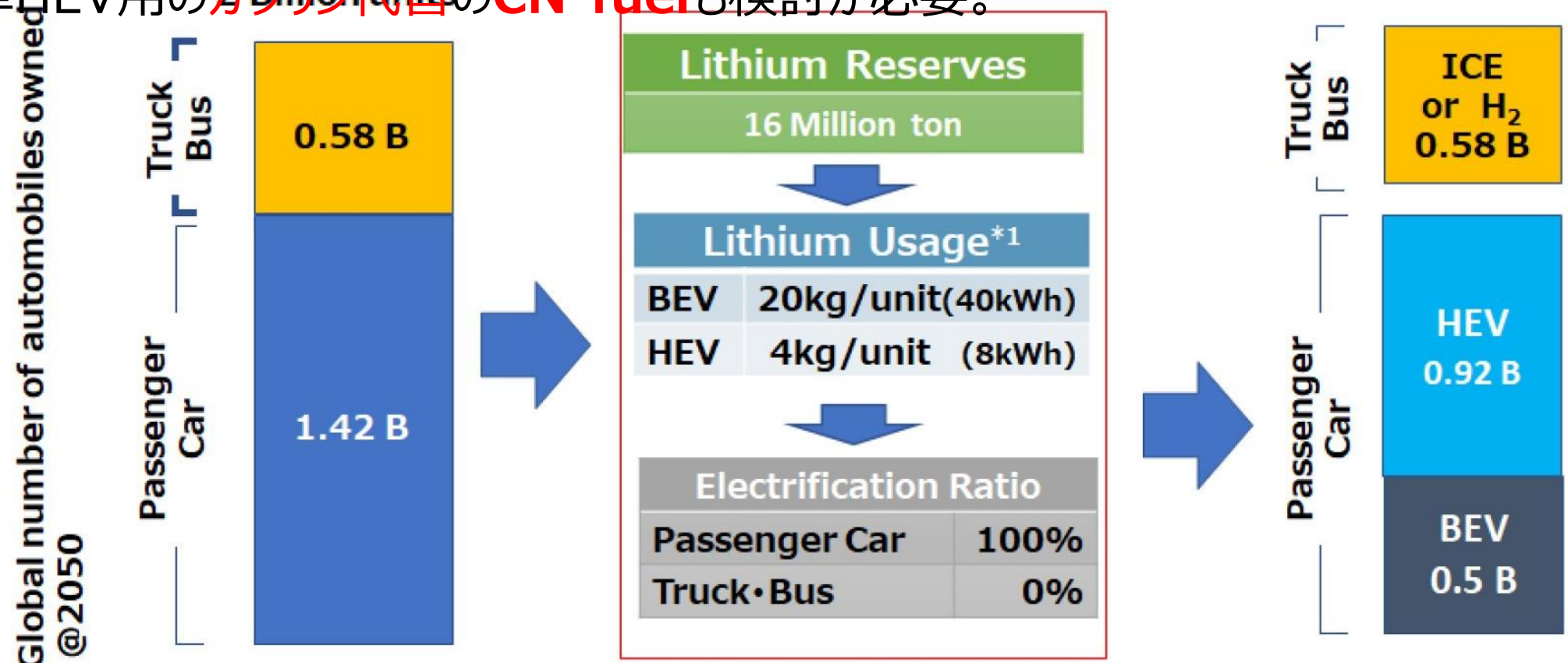
目次

1. エンジンの基礎 (ガソリンエンジン)
2. ガソリンの基礎
3. CN-fuelとは
4. ETS Renewablaze Nihon R100について
5. エンジンチューニングのポイント

CNで、全ての自動車をBEVに出来るか？ ⇒ ☆ Li : リチウム資源の制約

- ・世界中の自動車を全てバッテリー電気自動車：BEV化するには、**Li資源が不足**する。
- ・AICEの試算では、全個体電池に移行しても、**全自動車の1/4**を賄えるLi資源しか確保できない。

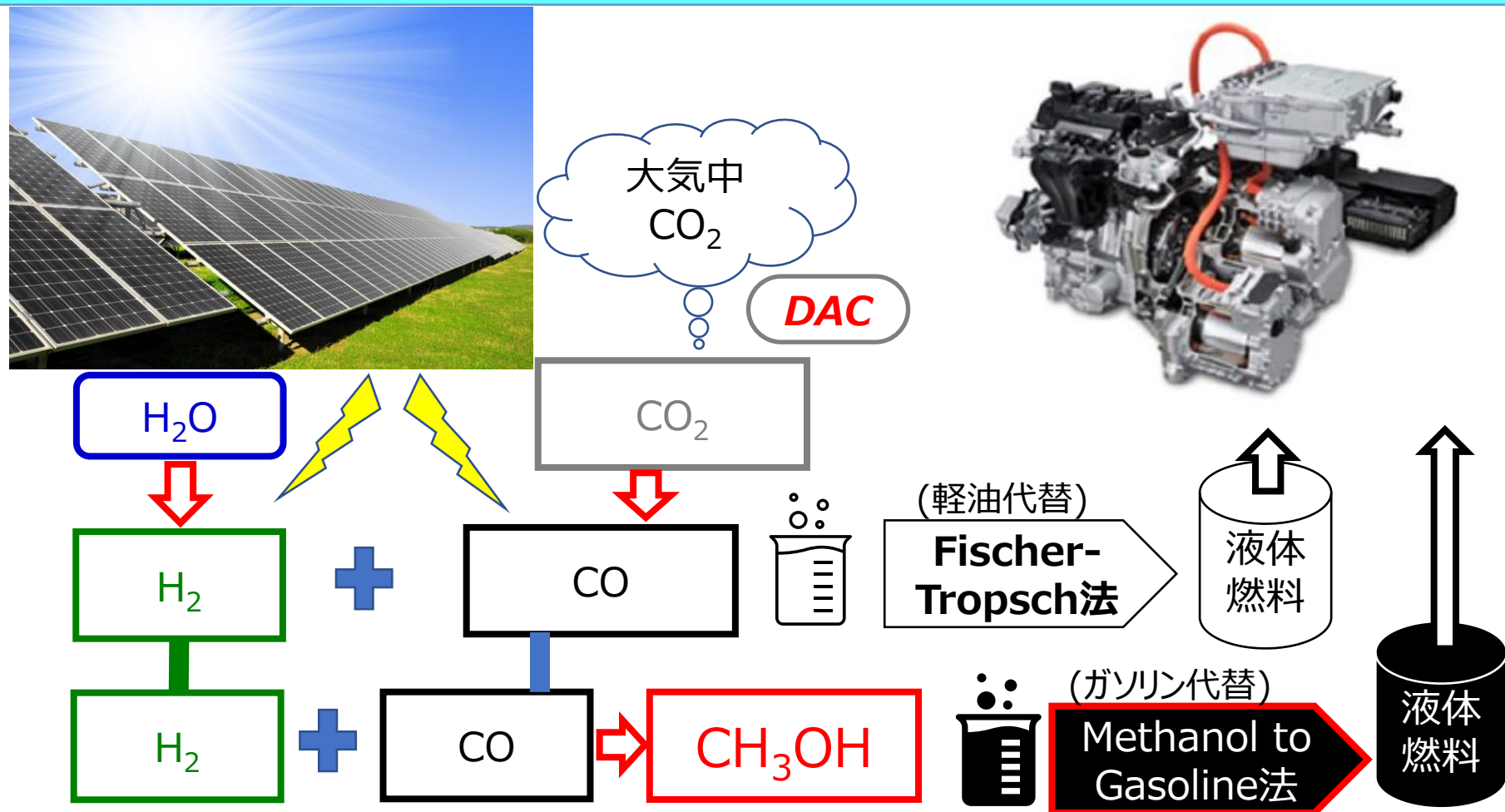
⇒貨物車ICE(Internal Combustion Engine)用の**軽油代替**だけでなく、
 小型車HEV用の**ガリン代替**の**CN-fuel**も検討が必要。



*1:Li (Lithium carbonation converse) 0.5kg/kWh×40kWh/台 = Estimated as 20kg/Unit

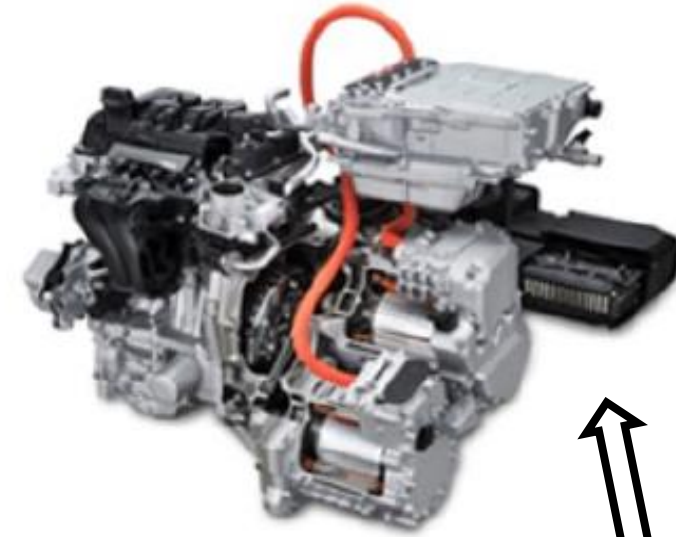
☆ 脱石油燃料：CN-fuelとは

- 再生可能エネルギーで作られた電力で水を分解して水素を作り、空気中のCO₂を捕集（DAC：Direct Air Capture）し、化学反応させて作る液体燃料をCN-fuelという。
- ※CN-fuelは、市場に存在する既存のICE車でもCarbon Neutralが実現できる。

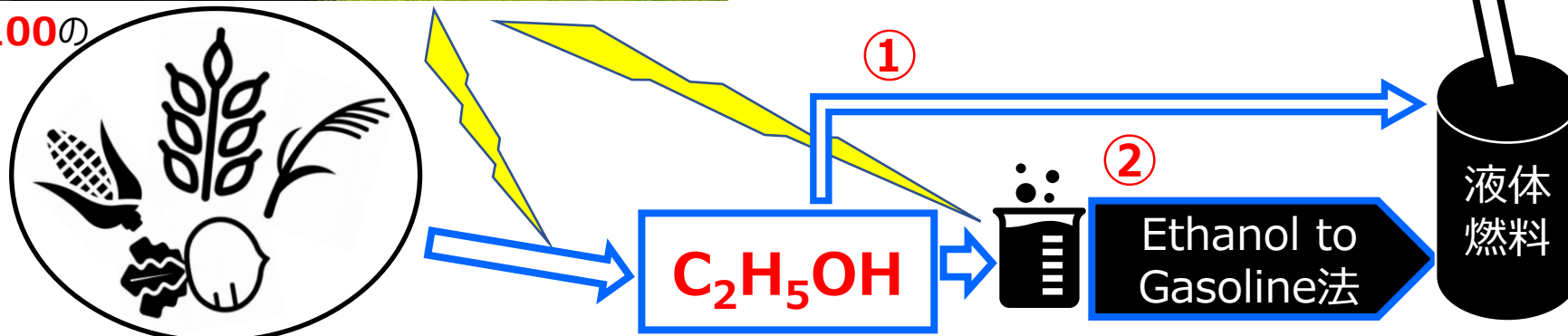


脱石油燃料：バイオ起源エタノールからのCN-fuel精製の紹介

- 再生可能エネルギーで生成された植物起因のエタノールを①そのまま混合するケース、
②EtG : Ethanol to Gasoline法での合成で、CN-fuelが精製できる。
- DACやグリーン水素の必要はないが、バイオの生産量により、制限される可能性あり。
- 直近での、CN-fuelとしては、現実的な製法の1つである。⇒Renewablaze R100もこの手法で精製している。



Renewablaze R100の
場合は、
第2世代セルロースを
使用



MtG / EtGの主な反応

- MtGは、メタノールを始点とする反応で、DMEを経由し、パラフィン、ナフテン、アロマを精製し、ガソリンの主要成分と同様の成分が得られる。(但し、成分比率は異なる。)
- EtGの場合は、エタノールを始点とし、DEEを経由して同様の反応をさせる。



Methanol

Di-Methyl Ether

EtGの場合は、Ethanol

EtGの場合は、DEE(Di-Ethyl Ether)



Methanol, Di-Methyl Ether

EtGの場合は、Ethanol、DEE



C_5^+ Olefins

Paraffins

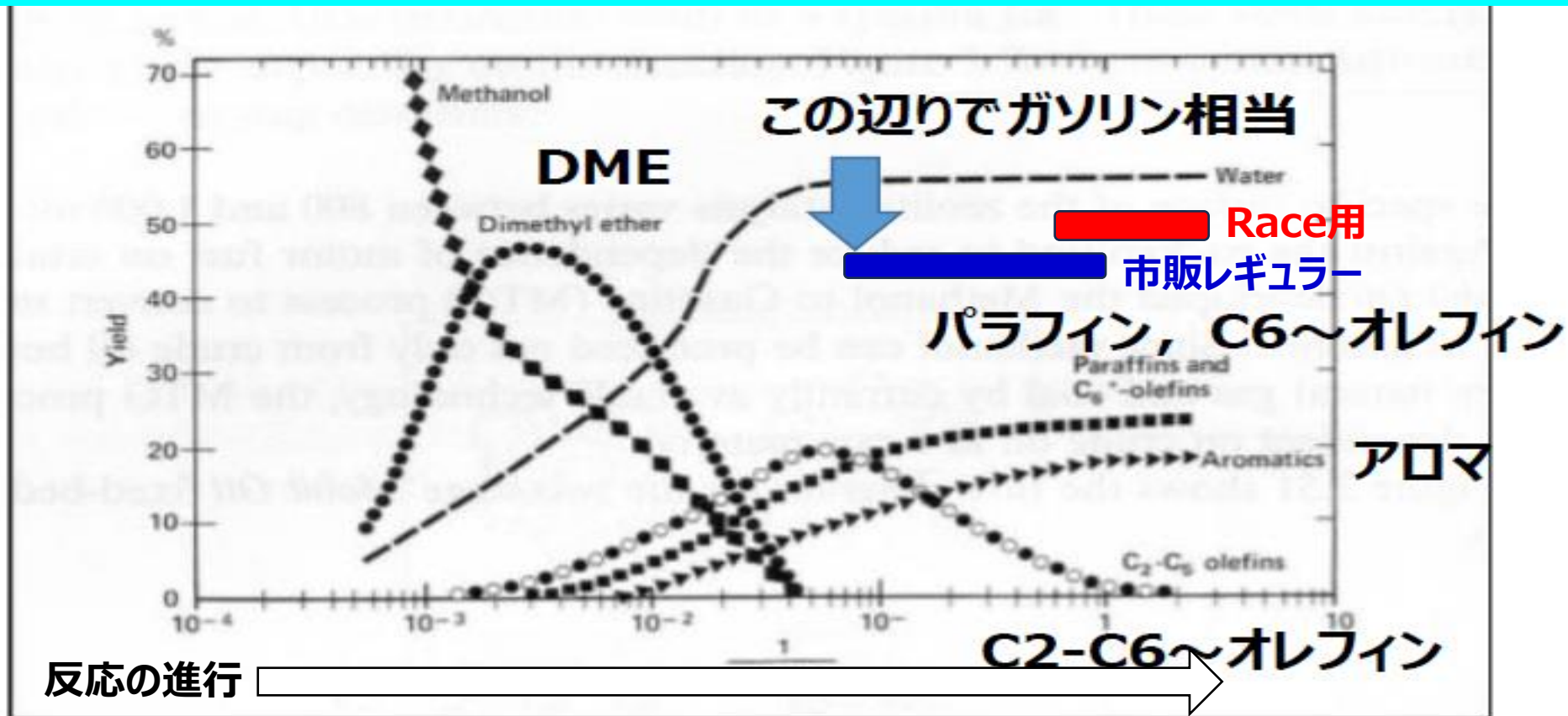
Naphthenes

Aromatics

Gasoline

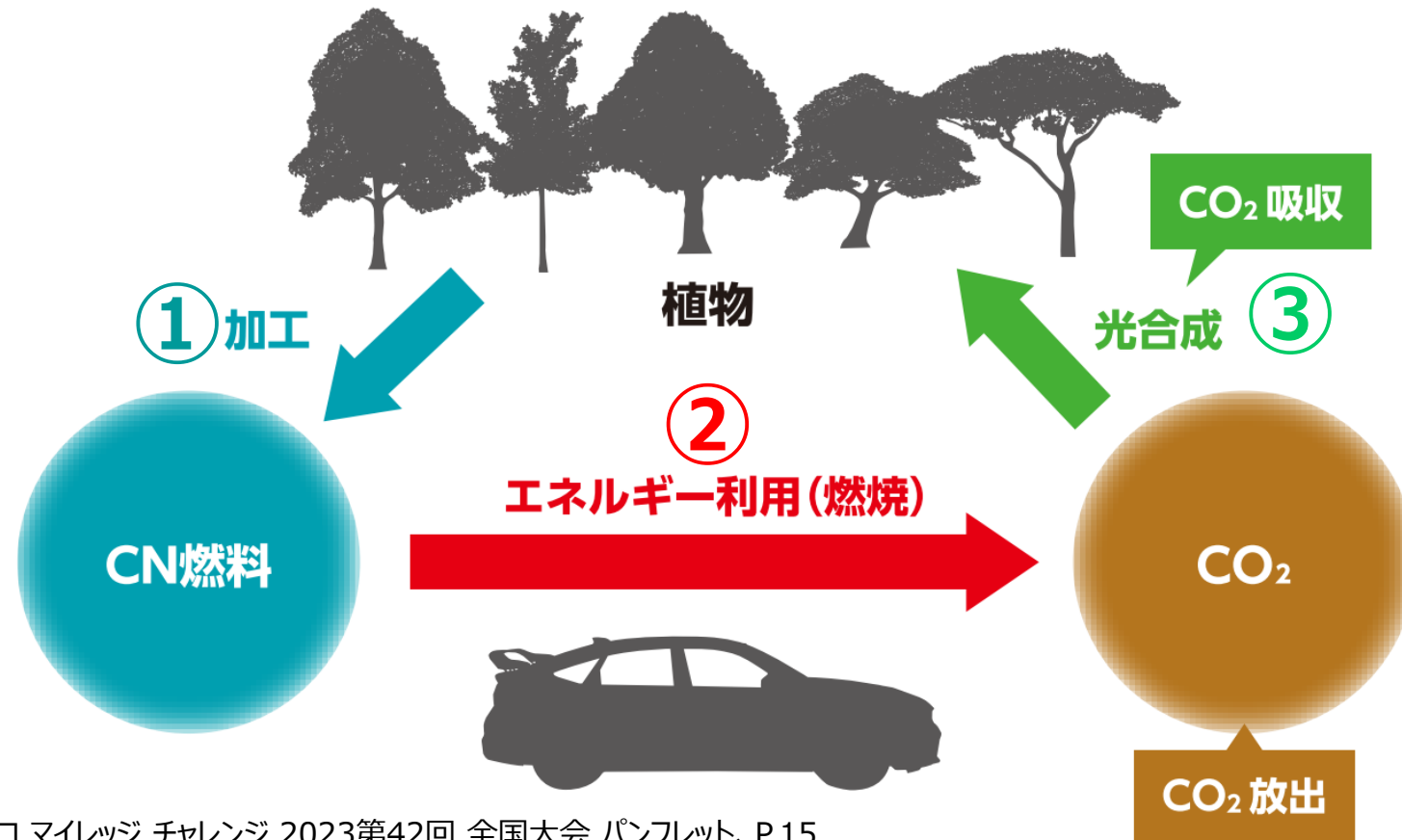
MtG (EtG) でのRace用ガソリンの精製について

- メタノール／エタノール起因でも、MtG／EtGにはパラフィン、オレフィン、アロマも含まれる。
- 反応をどこで止めるかが、キーポイント！
- 通常の**市販レギュラ**なら、MONを高くする必要がないので、反応を早く止めても可。
- **Race用**は、MONを高くするために長く反応させ、トリメチルベンゼン等の重質アロマ増とオレフィン減を目指す必要がある



EtGで精製された燃料ではどうしてCO₂がゼロなのか？

- ①植物ゴミ等の**第2世代セルロース**から精製されたエタノールをEtG法で自動車用燃料にする。
 - ②自動車は、その燃料を燃焼し、CO₂を排出する。
 - ③排出されたCO₂を植物が**光合成**で吸収し、生育する。
- ・その植物を原材料とし、エタノールが精製されれば、②の燃焼時に発生したCO₂は相殺されることになり、**CO₂ゼロ**になる。



目次

1. エンジンの基礎 (ガソリンエンジン)
2. ガソリンの基礎
3. CN-fuelとは
4. ETS Renewablaze Nihon R100について
5. エンジンチューニングのポイント

ETS Renewablaze R100シリーズとは



- ☆ ETS Renewablaze R100シリーズは2023年から下記の国内レースで用いられるようになったサーキットレース用燃料である。
- ・ Super GTのGT500クラス（4気筒の直噴ターボエンジン） - (Renewablaze GTA R100として採用)
- ・ Japan Super Bike 1000クラス - (Renewablaze Nihon R100として採用)



市販ハイオク vs Renewablaze Nihon R100 比較

- ETS Renewablaze Nihon R100はレース用燃料であり、オクタン価は国内ハイオクに比べて高い。⇒①圧縮比を上げられる可能性がある。
- RVPに関しては、オクタン価を重視のため、オクタン価が低いC4パラフィン等の成分が少なく、RVPの値は低い目になっている。また、夏／冬の調整はしていない。
⇒低温において、②始動時の初爆が来にくい傾向。

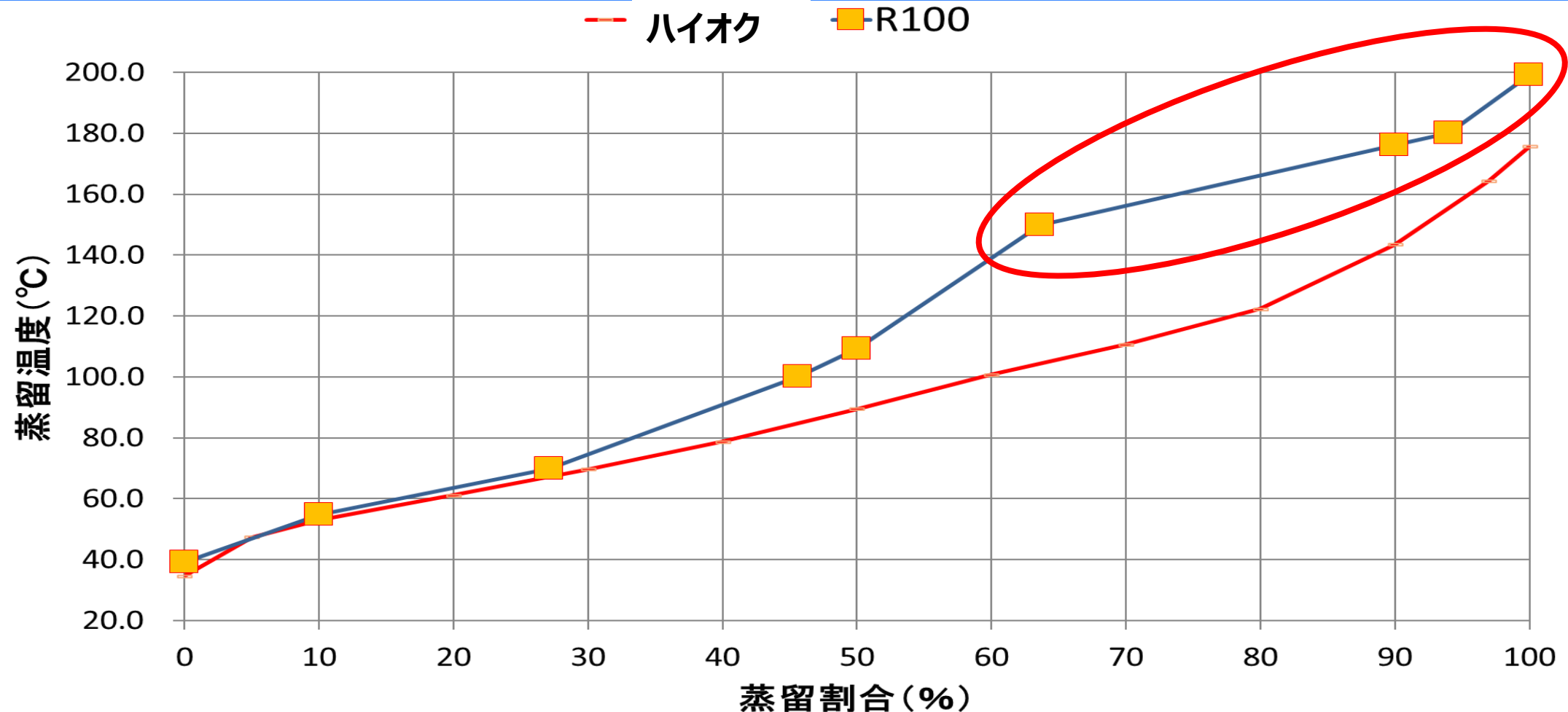
	ETS Renewablaze Nihon R100 (1事例)	国内ハイオク相場レベル
RON	101.4	99台
MON	88.6	87台
*RVP (DVPE) @37.8°C (kPa)	50.8	夏：60前後／冬：87前後
密度@15°C (kg/m ³)	775.1	750前後

※RVP (Reid Vapor Pressure) : 38.7°Cでの蒸気圧、
欧州ではDVPE (Dry Vapor Pressure Equivalent)) と呼ばれる

市販ハイオク vs Renewablaze Nihon R100蒸留特性比較

・ETS Renewablaze Nihon R100は、EtG法で作られている。レース用燃料としてオクタン価(MON)を高くするには、高沸点のアロマ材を用いる必要があるため、蒸留割合60%(T60)以上の蒸留温度が高く、蒸発し難くなっている。

⇒③混合気冷却の能力が下がる可能性。低温時に④オイル希釈の可能性。

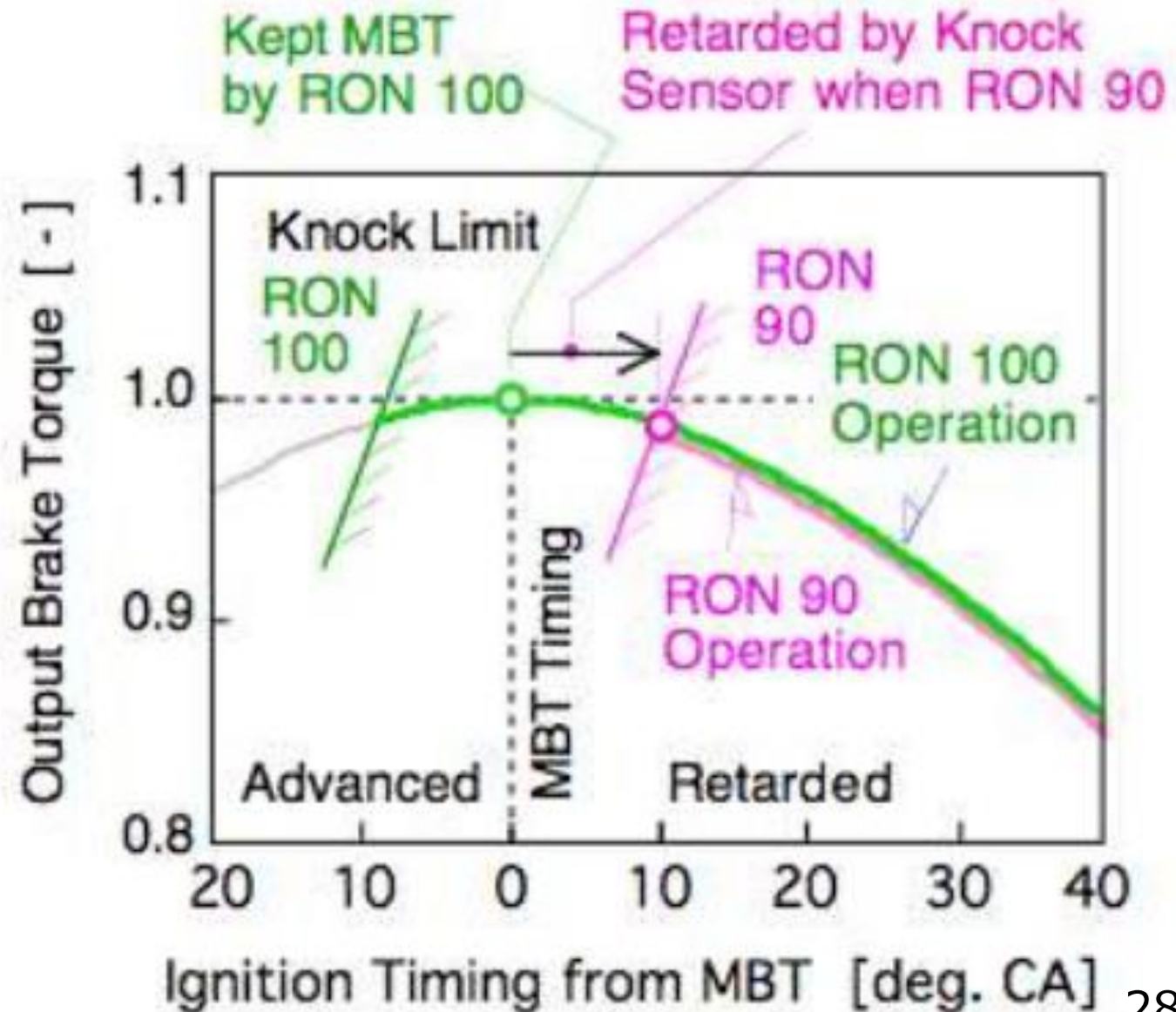
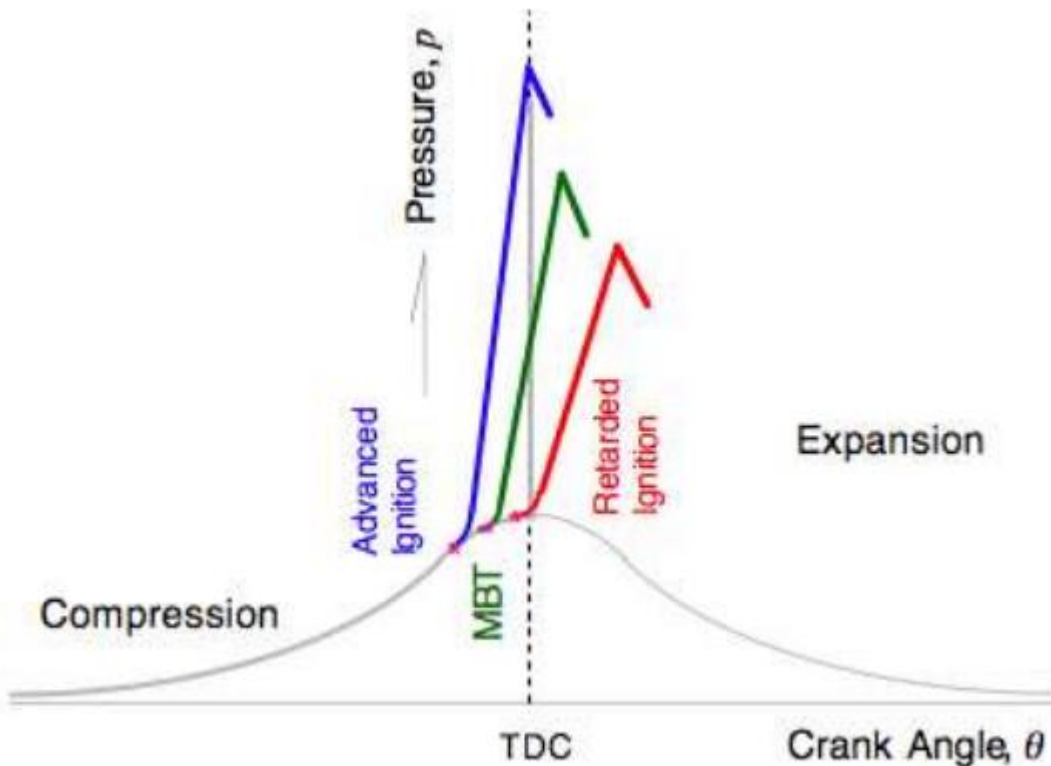


目次

1. エンジンの基礎（ガソリンエンジン）
2. ガソリンの基礎
3. CN-fuelとは
4. ETS Renewablaze Nihon R100について
5. エンジンチューニングのポイント

①適正な圧縮比の選定（オクタン価と“MBT”の関係）

- ・ノッキングを起こさず、**MBT**(Minimum advance for the Best Torque)を使用するためには、**適切な圧縮比**を選定する必要がある。
- ・**攻め**：Renewablaze NihonR100に合わせ、**圧縮比を上げるか**。
- ・**安全策**：国内ハイオクに対応した**現状のままの圧縮比**とするか。



②始動時の初爆が来にくい（ガソリンエンジンの着火の3原則から）

☆ガソリンエンジンの着火の3原則に立ち返り対応：

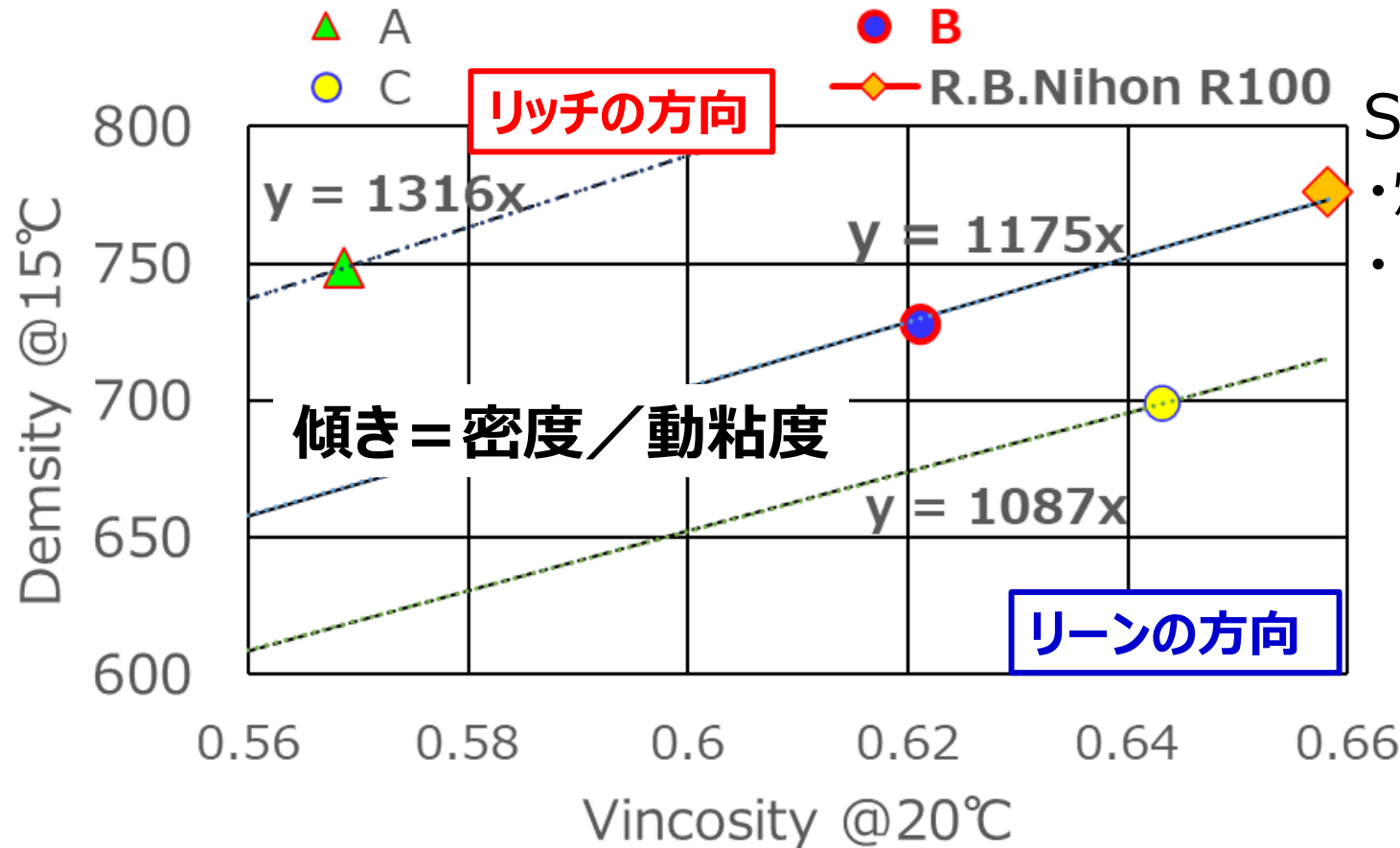
- 1) **良い圧縮**⇒クランキングSpeedをUpを考える。(圧縮圧力の低下、へたったバッテリーは論外)
…例) スタータ、バッテリー、配線の適正化等。
- 2) **良い混合気**⇒燃料の霧化向上を考える。
…例) 燃料噴射圧や噴射弁の適正化、**キャブレタの混合比の適正化**等。
- 3) **良い火花**⇒大きくて強い火花が飛ぶように点火系の見直しを考える
…例) プラグ形式、プラグギャップ、コイル仕様、高圧コード仕様、点火系システムの適正化等。



図 エコマイレージチャレンジの一般的な走行の模式化

キャブレタにおける空燃比:AFRに関する1仮説 (①動粘度で整理)

- キャブレタのJetを通過する燃料質量Qは、密度が大でリッチになり、動粘度が高いとOrificeを通過する抵抗が増え、リーンになる。⇒燃料質量Q = 密度 / 動粘度 × Kと仮定する。
- 燃料**B**は同一Jet径で市販ガソリンと同じQとなる。
- 密度 / 動粘度で燃料**B**と、Renewablaze Nihon R100はほぼ同じ値となる。
⇒混合比は大幅に変わらない予想。エンジン調整の初期段階で、**混合比の確認**を願いたい。



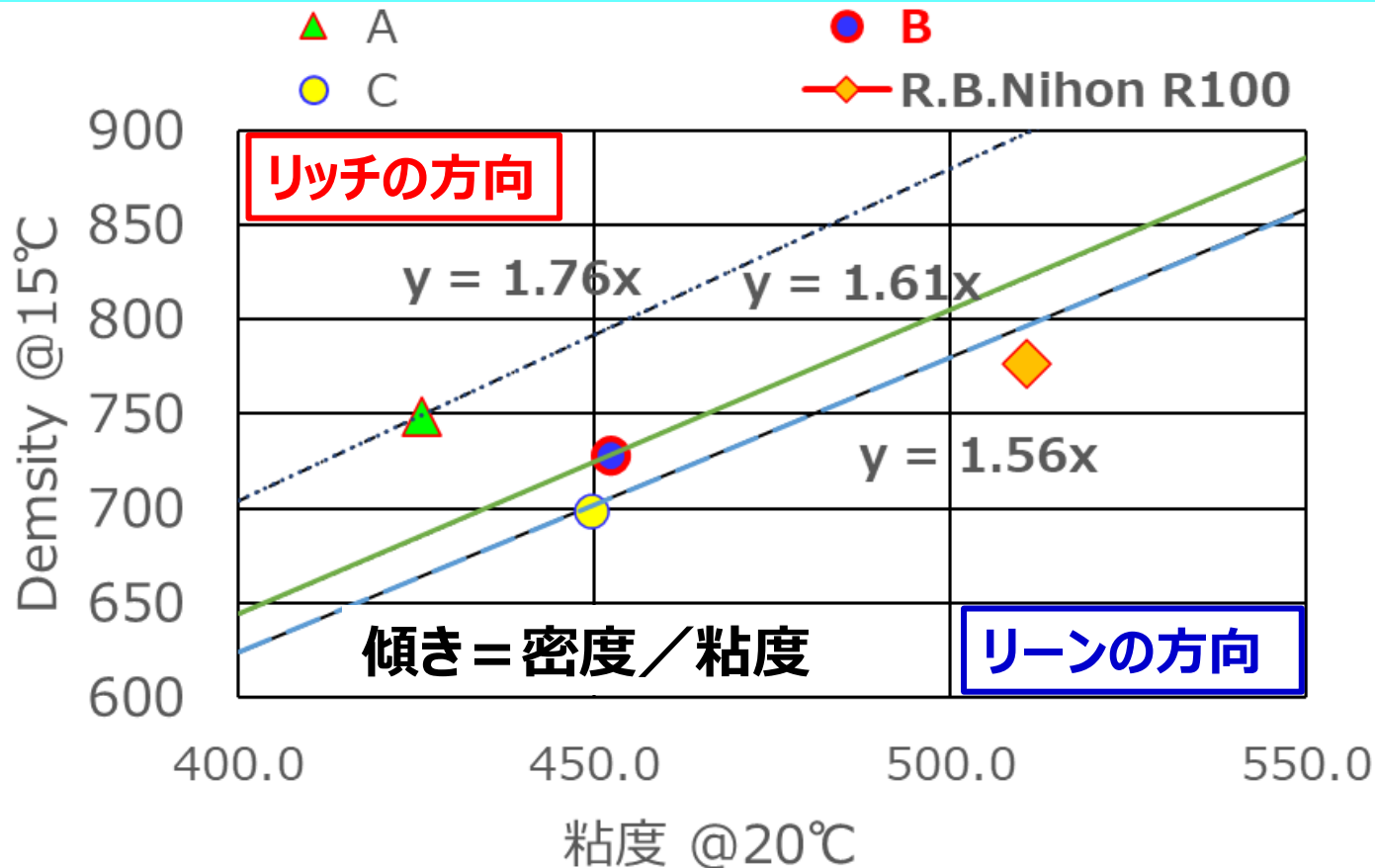
SOLEX キャブレタのメインJet :

- 燃料通路となるOrifice
- # 150と # 155はOrificeの径違い。



キャブレタにおける空燃比:AFRに関する1仮説 (②粘度で整理)

- キャブレタのJetを通過する燃料質量Qは、密度が大でリッチになり、粘度が高いとOrificeを通過する抵抗が増え、リーンになる。⇒燃料質量Q = 密度 / 粘度 × Kと仮定する。(粘度 = 密度 × 動粘度)
- 燃料Bは同一Jet径で市販ガソリンと同じQとなる。燃料Cはリーンになった。
- 密度 / 粘度で燃料Bに比べ、Renewablaze Nihon R100はリーンの方向となる。
⇒エンジン調整の初期段階で、**混合比の確認**を願いたい。必要あればMain Jet径の拡大を検討。



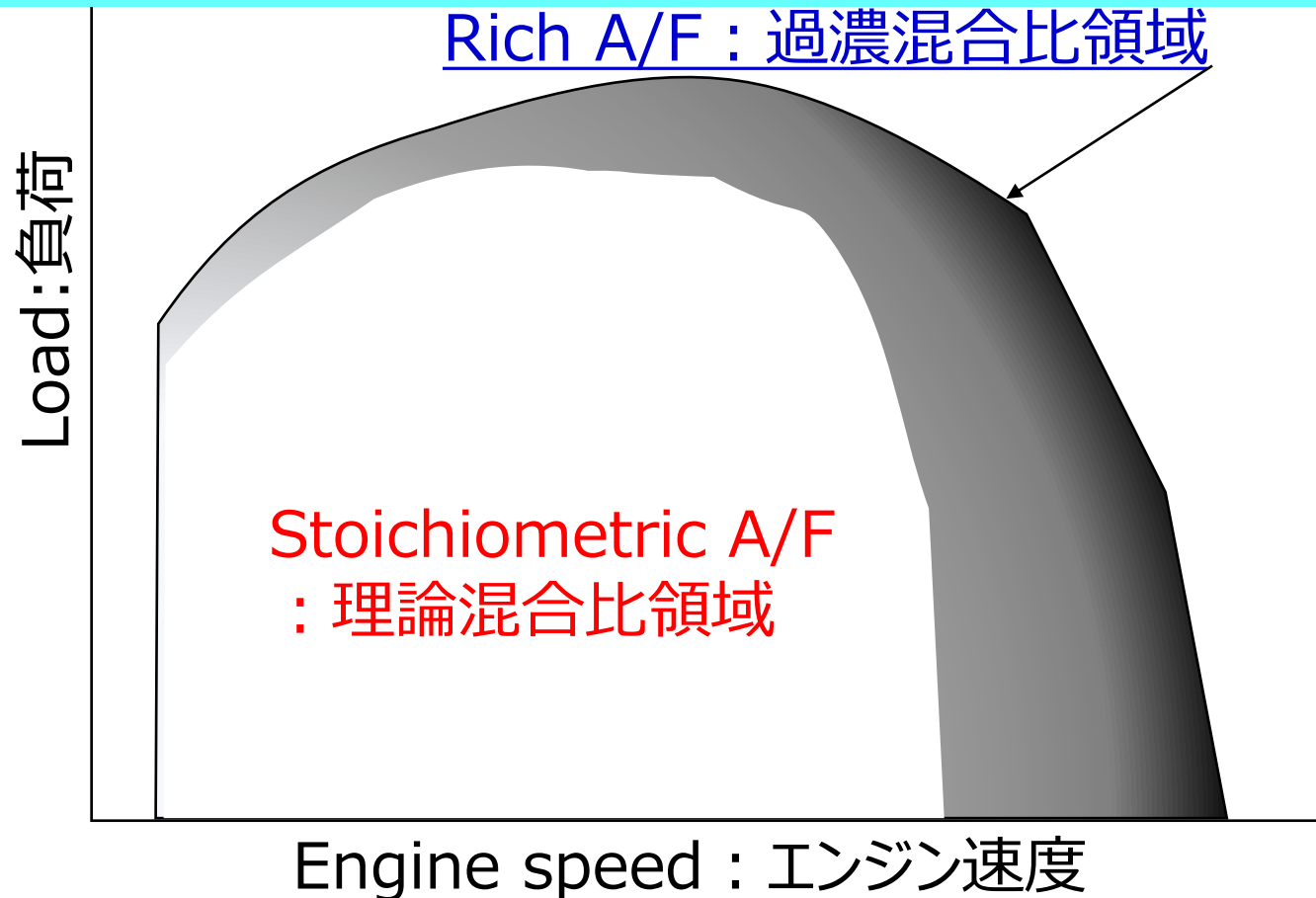
SOLEX キャブレタのメインJet :

- 燃料通路となるOrifice
- # 150と# 155はOrificeの径違い。



③混合気冷却性能、④オイル希釈への対応

- ・過濃混合比領域は、理論混合比より余剰となった燃料の蒸発潜熱を使って冷却効果向上。
- ・よって、蒸発しにくいガソリンでは、冷却効果が足りず、更に余剰の燃料を噴射する必要がある。
- ⇒しかし、燃費勝負の際、混合気冷却に頼るか／エンジンルームの掃気等別の冷却を考えるべき。
- ・一方、蒸発しなかった成分は、排気から出るか、オイルに混入（オイル希釈の可能性）



出典：岡山、大気環境学会誌
第54巻第3号（2019）、
入門講座、P.A43から改変

④ オイル希釈（物質の沸点と蒸発率の関係から）

・油水温が30～80℃いずれの場合でも、沸点が100℃を超える重質成分の蒸発率は大幅に低下する。特に30℃の低油水温の場合は顕著。⇒オイルレベルの小まめなチェックが必要。

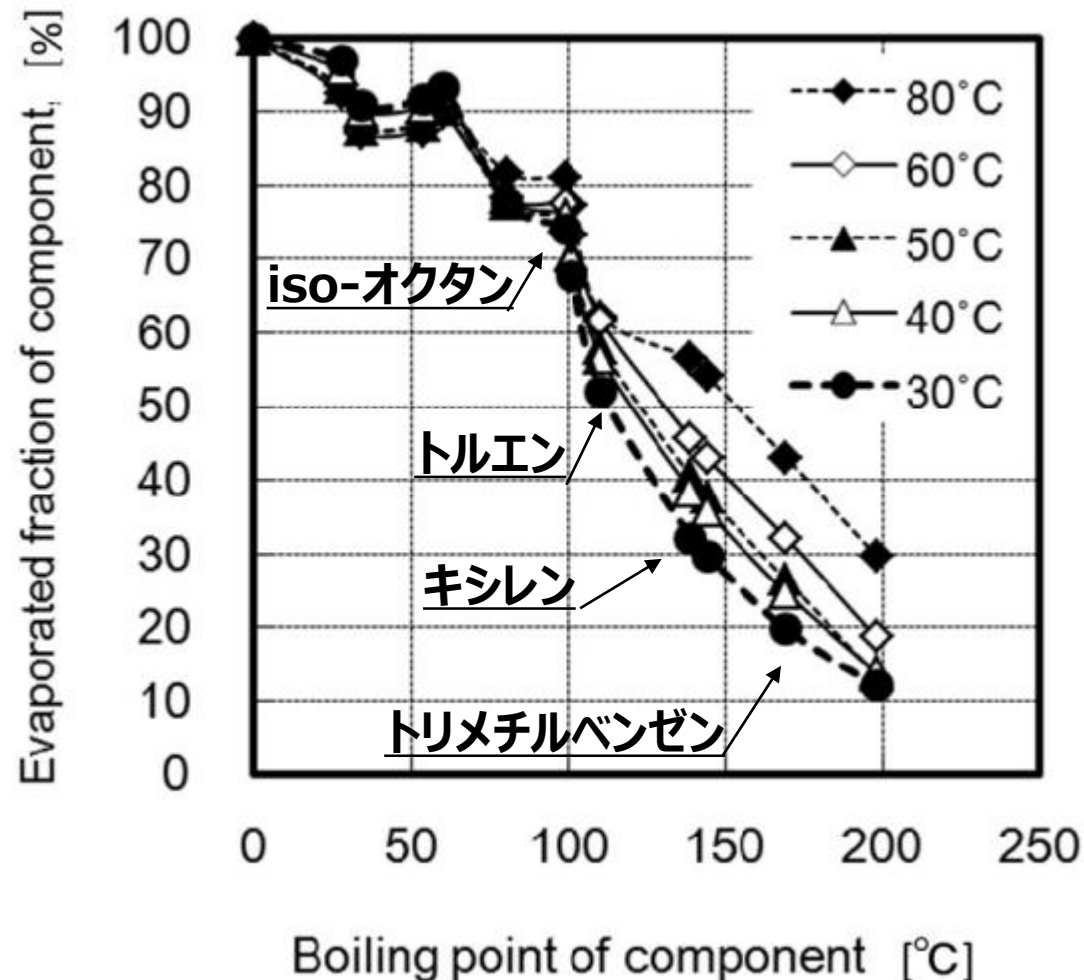


Figure 2-14 Experimental findings of evaporated fractions of individual components in M0 fuel with varying temperature of oil/water

出典：ENEOS、尾山、論文、“エンジン内のガソリンの蒸発および燃焼におよぼす 燃料組成の影響”から改変

まとめ（ETS Renewablaze Nihon R100使用に向けて）

☆ ETS Renewablaze Nihon R100の使用に際し、

- ① 圧縮比の適正化
- ② 始動性の向上（含空燃比AFRの確認）
- ③ 混合気冷却性能の見直し
- ④ オイル希釈の確認

以上について、どのような考えで開発するか、

Team内で議論した上で、開発方針や計画を策定してください。

※注意点：

・エンジン開発のみに力を入れすぎると、シャシーや駆動系の開発に割ける時間が少なくなります。

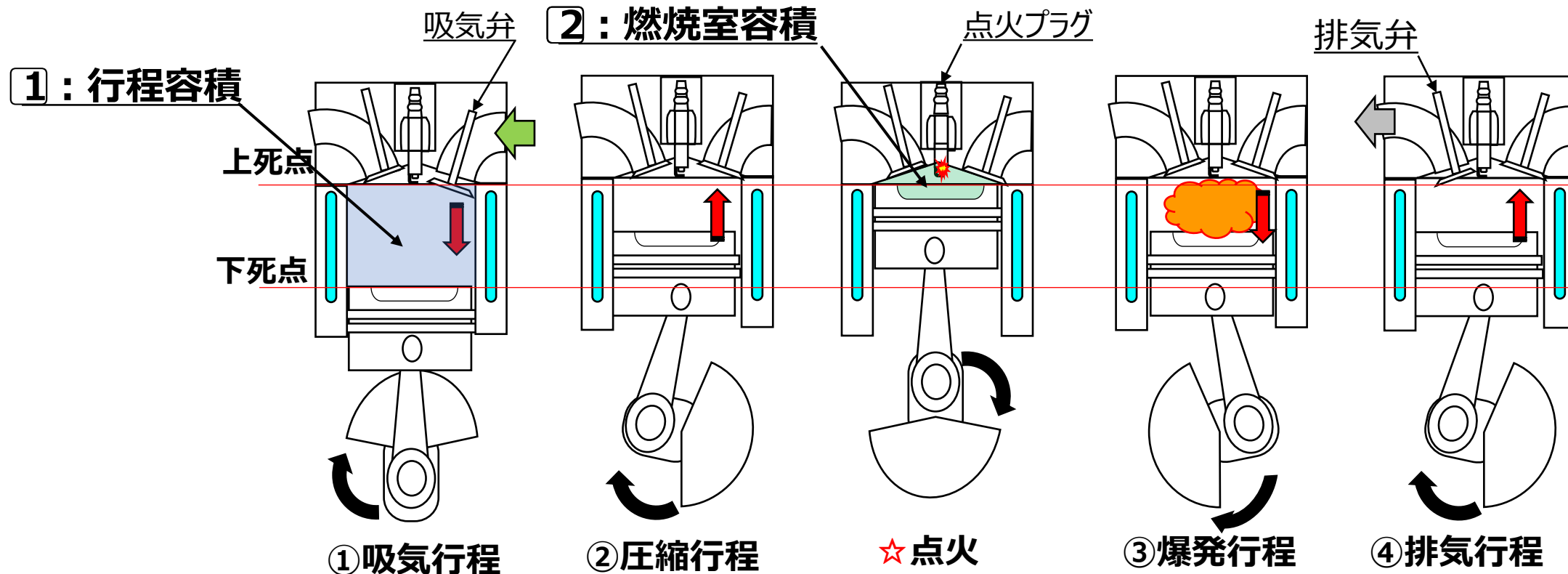
⇒全体計画、マイルストーンの設定、計画通りに行かない場合の対応の方向性を予め、**Team内で話し合い、共有してから開発に着手してください！**

ご清聴、有難うございました
—Thank you for your attention—

以下、Appendix

往復運動機関（レシプロエンジンの圧縮比とは）

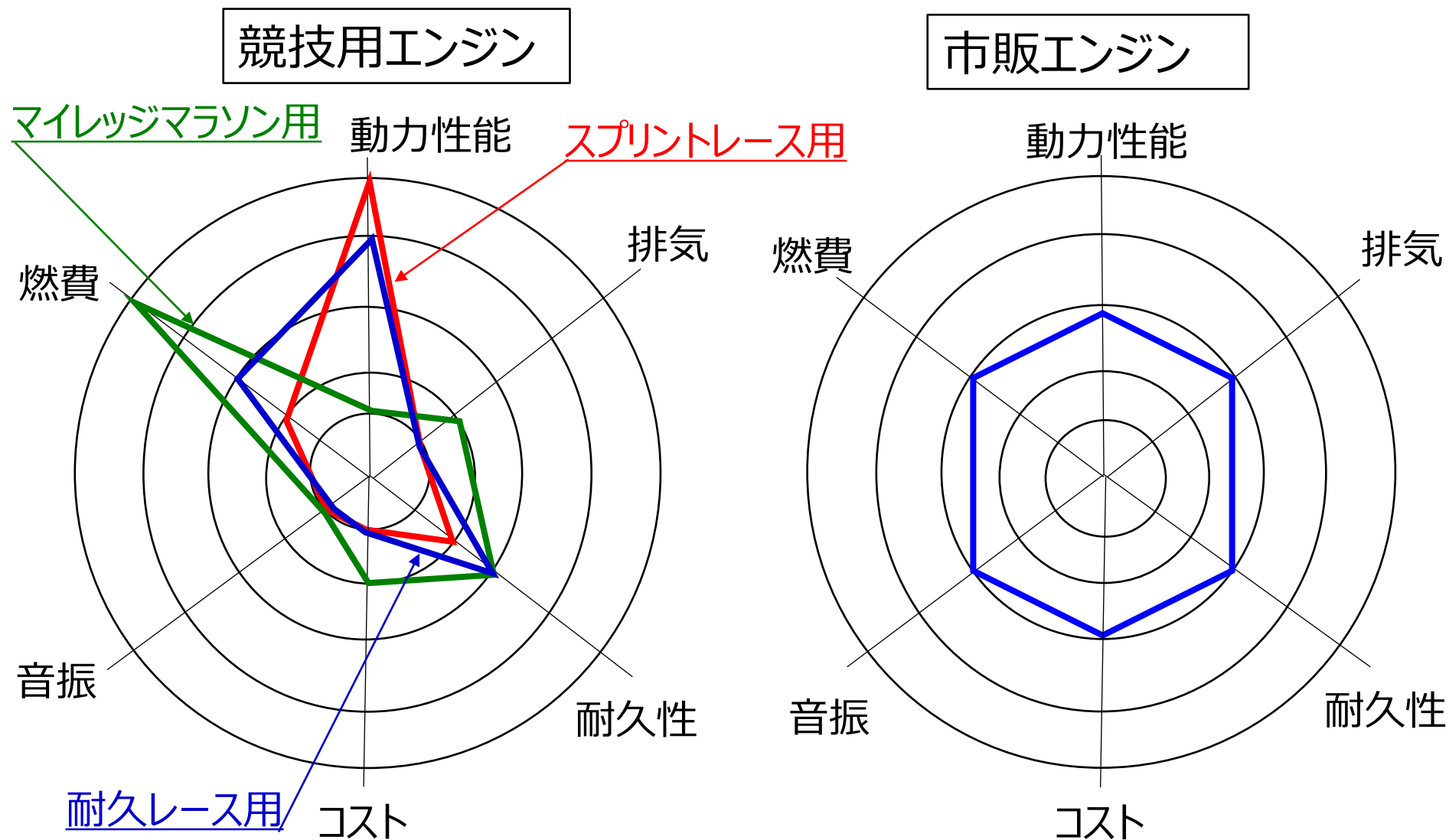
- 4サイクルエンジンの4行程：①吸入、②圧縮、③爆発、④排気。
- 下死点から上死点までの **①行程容積** ($n \times \text{ピストン径ボア}^2 \times \text{ピストンストローク} / 4$) : グレー。
- **②燃焼室容積** : 薄緑
- 圧縮比 $\varepsilon = (\text{①} + \text{②}) / \text{②}$ で示す比率。
⇒圧縮比が高いほど、力を出せるが、ガソリンでは“ノッキング”問題にぶつかる。



出典：岡山、大気環境学会誌 第54巻第3号（2019）、入門講座、P.A43から改変

市販エンジンの性能バランス（イメージ）

- ・市販用は、動力性能、燃費、排気、音振、耐久性のバランスが取れていること。
- ・競技用は、求められる要求に特化。

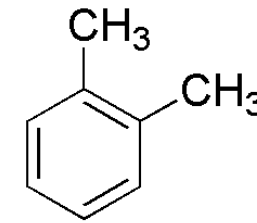


参考) 炭化水素、燃料でよく使われる数値の表記

- 炭化水素や燃料成分でよく使われる数値の表記は、ギリシャ語の表記が使われる。
- 炭素数の表記と官能基の数字の表記は微妙に異なる。1~4までの表記。
- 同じ化学物質でも様々な呼び方がされる。例：キシレン = di-メチルベンゼン

	炭素数の数え方		官能基の数え方	
1	metha	メタ	mono	モノ
2	etha	エタ	di	ディ
3	propa	プロパ	tri	トリ
4	buta	ブタ	tetra	テトラ
5	penta	ペンタ	penta	ペンタ
6	hexa	ヘキサ	hexa	ヘキサ
7	hepta	ヘプタ	hepta	ヘプタ
8	octa	オクタ	octa	オクタ
9	nona	ノナ	nona	ノナ
10	deca	デカ	deca	デカ

キシレン = di-メチル ベンゼン



メタノール
CH₃-OH

エタノール
CH₃-CH₂-OH

炭化水素系燃料の組成成分の基礎

- 炭素Cには4本の腕、水素Hには1本の腕がある。それが全て、他の元素と繋がっていること。
- パラフィン：直鎖のnパラフィン(a)、側鎖のiパラフィン(b)
- オレフィン(c)・・・2重結合あり
- ナフテン（シクロパラフィン）：シクロペンタン(d)とシクロヘキサン(e)
- アロマ：ベンゼン環が1環の(f)と2環(g)・・・3つ以上の2重結合あり

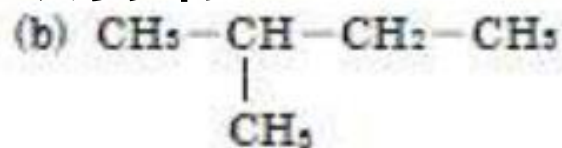
水素： — H

炭素： $\begin{array}{c} | \\ \text{--- C ---} \\ | \end{array}$

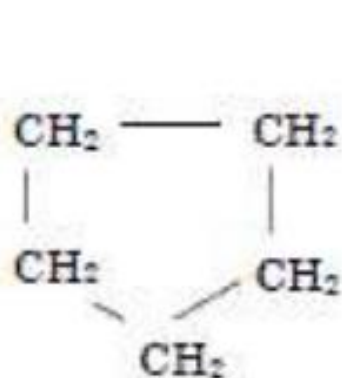
nパラフィン



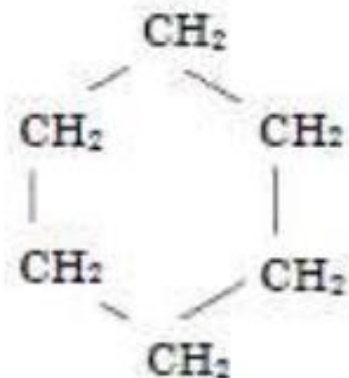
iパラフィン



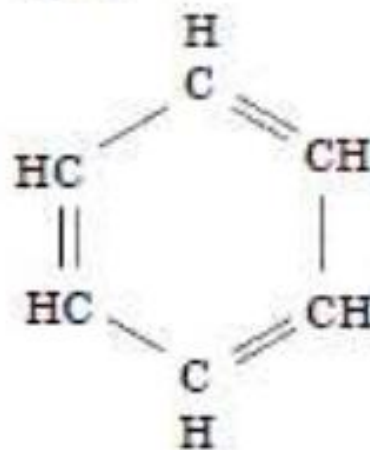
オレフィン



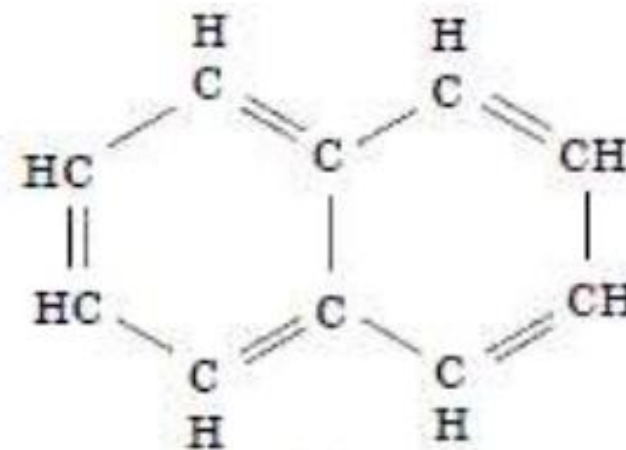
ナフテン(d)



ナフテン(e)



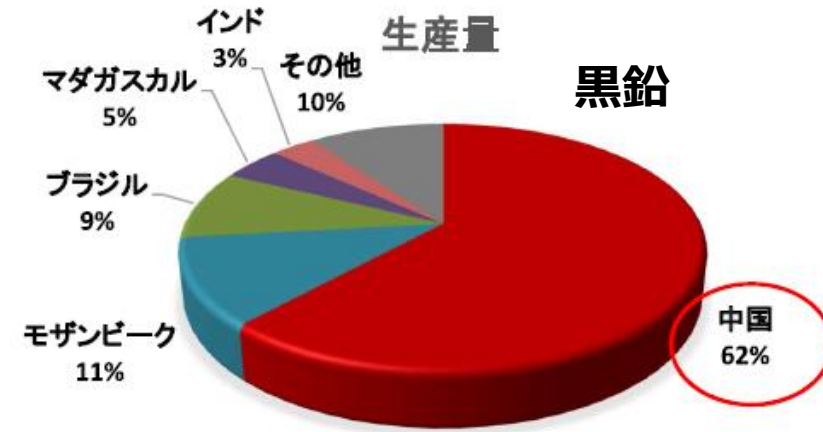
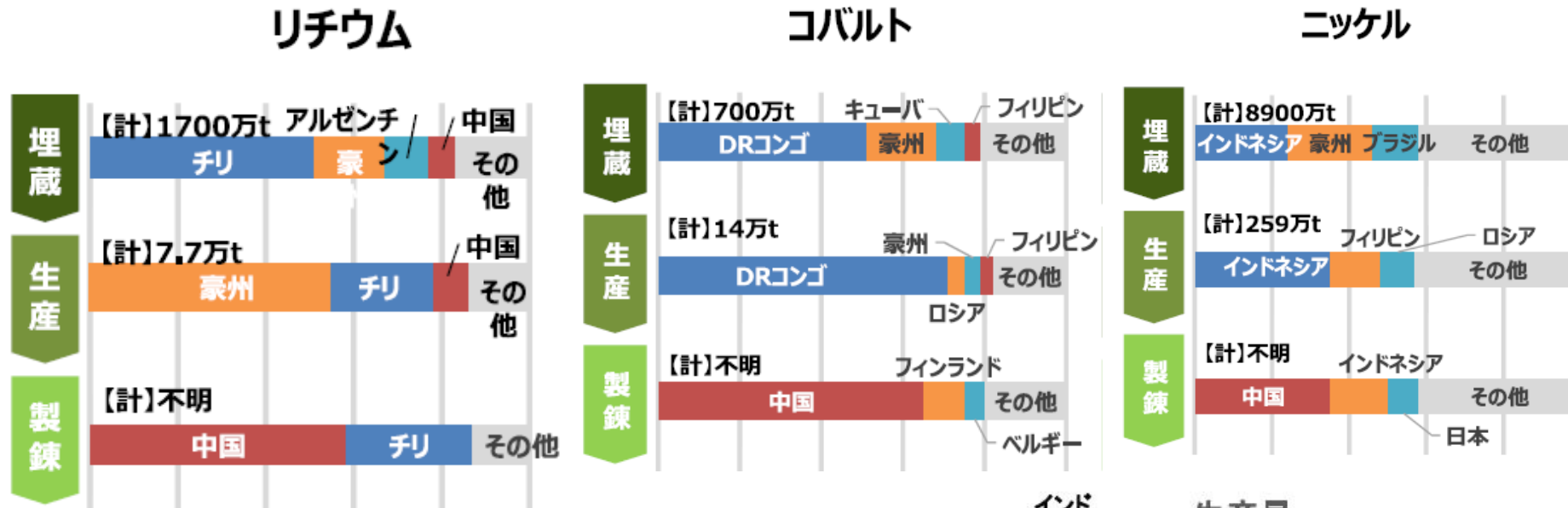
(f) 1環アロマ



(g) 2環アロマ

☆ 電池材料のサプライチェーンの偏在の問題

- 電気自動車に用いられる電池の供給は、特定の国に偏っている。
- リチウムイオン電池の正極材であるLi、Co、Niの精錬は中国が多く占有。
- 負極材の黒鉛も中国が大部分を占める。ここに来て輸出規制。(2023.10.20中国商務省)

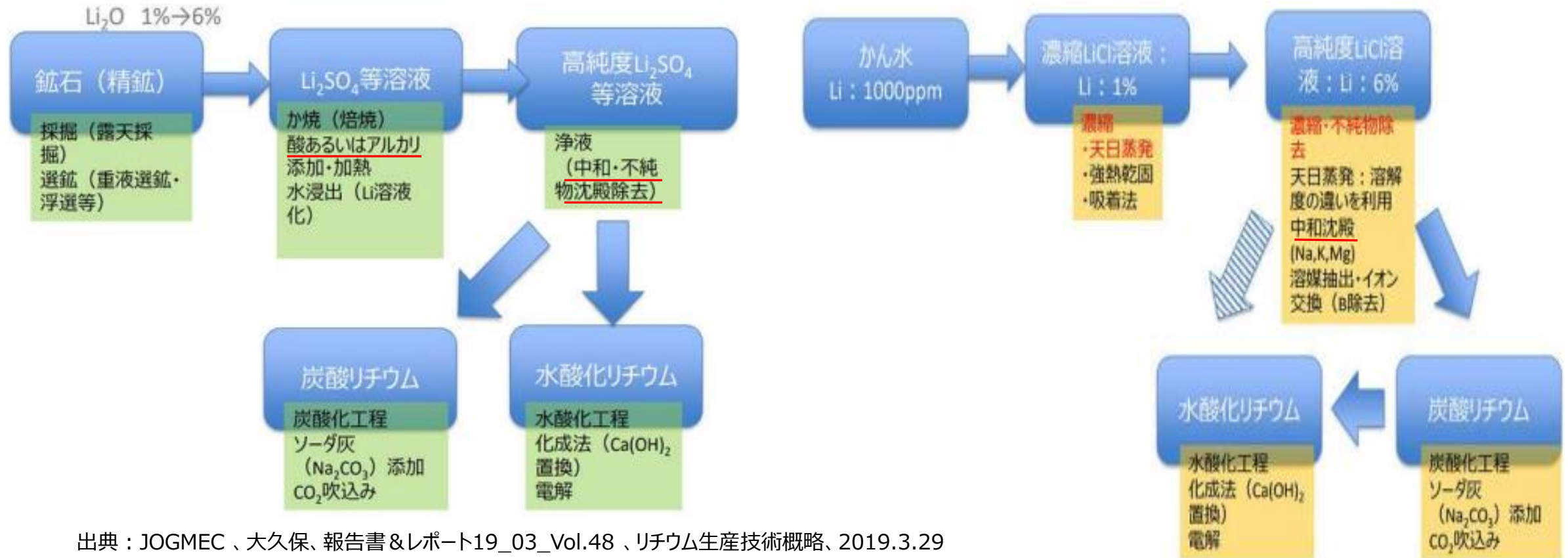


出典：経産省、蓄電池産業の現状と課題について、2021.11.18から引用、
 原典は埋蔵・生産：USGS2020、黒鉛生産：USGS2021、精錬：IEA

Li 精錬時の環境汚染の可能性

☆Li精錬を国内で可能か？⇒容易ではない。

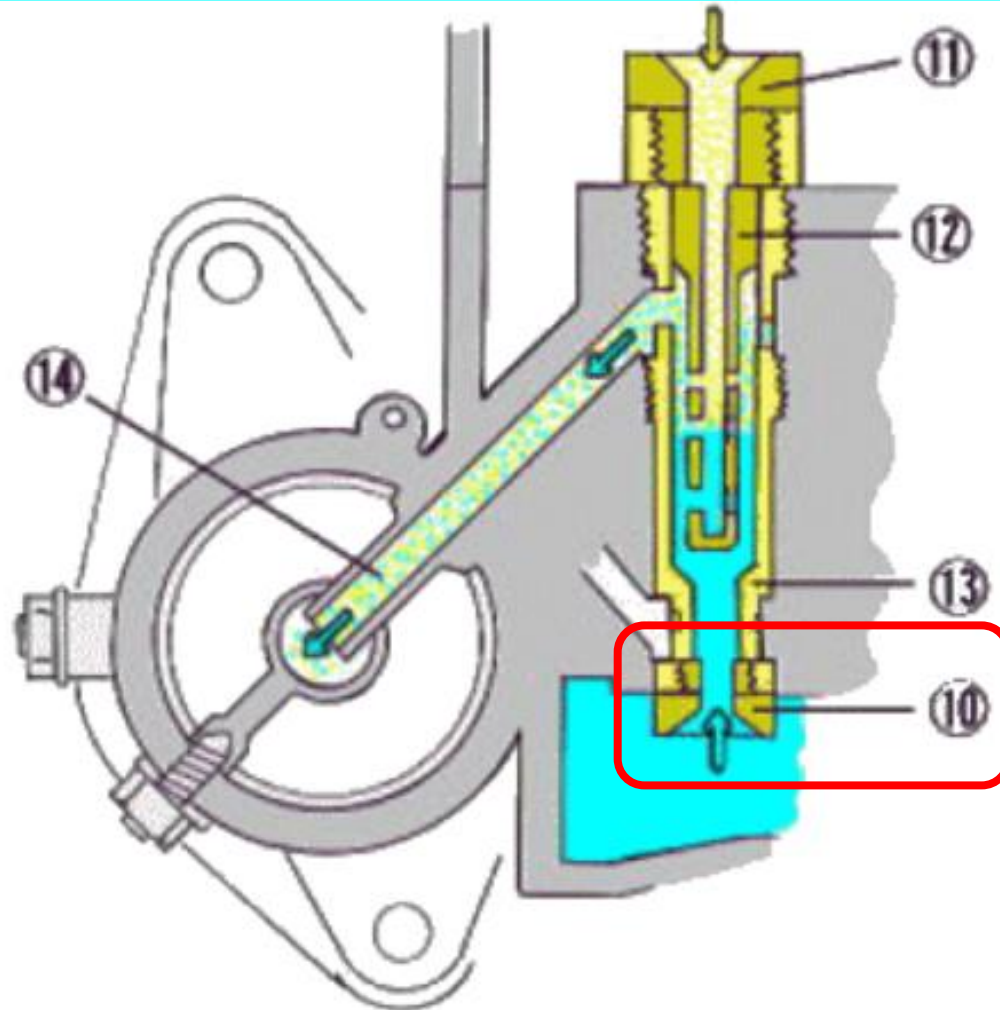
- 精錬過程での洗淨水の大量使用により、農業用水、生活用水の枯渇の可能性。
- 精錬過程での残留物： Na_2SO_4 等が発生する。適切に処理すれば良いとの意見もあるが、コスト競争力が低下。
- 採掘・輸送時の CO_2 排出の増加。



出典：JOGMEC、大久保、報告書&レポート19_03_Vol.48、リチウム生産技術概略、2019.3.29

キャブレタJetの図示 (SOLEX PHHの例)

- ・⑩ : メインJet、⑪ : エアJet。
- ・メインジェットを通過する燃料の密度が高くなるとリッチになる。また、粘性が上がるとリーンになる。



構造は、
「メインジェット⑩」
「ジェットブロック⑬」
「ブリードパイプ⑫」
「エアージェット⑪」
等の機能部品で構成されています。



Appendix終了