

亜臨界水・超臨界水を用いたエネルギー変換

広島大学

松村幸彦

2022年11月29日
 化学工学会超臨界部会2022年度基礎セミナー
 「超臨界CO2および亜臨界水・超臨界水の基礎と応用技術」, 東京(ハイブリッド)

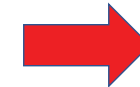
エネルギー変換

1次エネルギー

自然の中に見つけられるエネルギー

- 石油
- 石炭
- 天然ガス
- ウラン
- 水力
- 太陽光
- 風力
- バイオマス
- 地熱
- 潮汐
- 波力

エネルギー変換



2次エネルギー

我々が使いやすいエネルギー

- 電気
- 熱
- 都市ガス
- LPG
- ガソリン
- 軽油
- 灯油
- 水素
- コークス
- 木炭

燃料エネルギー変換の3段階

前処理

メインの変換をしやすくする

- 石油精製
- 石炭乾留
- ガス精製
- 水蒸気改質
- ウランペレット燃料化
- バイオマス粉碎
- バイオマスペレット化
- バイオマス半炭化
- ...

エネルギー変換

1次エネルギーを2次エネルギーに

- 燃焼
- 発電
- ガス化
- 液化
- 炭化
- ...

後処理

生成物をより使いやすくする

- 改質(upgrading)
- 成形
- エタノール変性
- ...

亜臨界水・超臨界水を用いたエネルギー変換

1次エネルギー

自然の中に見つけられるエネルギー

- 石油
- 石炭
- 天然ガス
- ウラン
- 水力
- 太陽光
- 風力
- バイオマス
- 地熱
- 潮汐
- 波力

超超臨界圧発電

超臨界水液化



超臨界水ガス化

直接液化

水熱炭化

水熱前処理

2次エネルギー

我々が使いやすいエネルギー

- 電気
- 熱
- 都市ガス
- LPG
- ガソリン
- 軽油
- 灯油
- 水素
- コークス
- 木炭

バイオマスの前処理

物理的
処理
Physical

粉碎 Pulverization

熱化学的
処理
Thermo-
chemical

水蒸気爆砕 Steam explosion
 蒸煮 Cooking
 半炭化 Torrefaction
 酸糖化 Acid saccharification
水熱前処理 Hydrothermal pretreatment

生物化学的
処理
Bio-chemical

酵素加水分解 Enzymatic hydrolysis
 酵素糖化 Enzymatic saccharification
 発酵精鍊 Retting



HU-ACE

バイオマスのエネルギー変換

物理的
変換
Physical

ペレット化 Pelletization

直接燃焼(専焼) Direct combustion
 混焼 Co-firing
 熱化学的ガス化 High temperature gasification
 急速熱分解 Flash pyrolysis

熱化学的
変換
Thermo-
chemical

炭化 Carbonization
 超臨界水ガス化 Supercritical water gasification
 直接液化 Direct liquefaction
 水熱炭化 Hydrothermal carbonization
バイオディーゼル生産 Biodiesel production

生物化学的
変換
Bio-chemical

メタン発酵 Methane fermentation
 エタノール発酵 Ethanol fermentation
 ABE発酵 ABE fermentation
 水素発酵 Hydrogen fermentation
 生物燃料電池 Microbial fuel cell



HU-ACE

バイオマスのマテリアル変換

物理的
変換
Physical

建材生産 Lumber production
 抽出物生産 Biomass extraction
 パーティクルボード生産 Particleboard production

熱化学的
変換
Thermo-
chemical

クラフトパルピング Kraft pulping
 ガス化プラスチック合成 Gasification for plastic production
土壌改良剤生産 Carbonization for terra preta
水熱成分分離 Hydrothermal separation

生物化学的
変換
Bio-chemical

堆肥化 Compost production
 乳酸発酵 Lactic acid fermentation
 飼料化 Feedstock production
 有用物質生産 Ferm. for useful products



HU-ACE

バイオマスの水熱前処理

100~200 °C 数分~数時間
 バイオマスを高温高圧水中で処理することによって、
 均質化、脱水、反応性向上などを実現

細胞構造の破砕による流動性向上 (松村)
 メタン発酵、超臨界水ガス化、糖化の反応特性向上
 (美濃輪・松村・遠藤)
 親水基の除去による脱水特性の向上 (吉川)



HU-ACE

バイオマスの水熱炭化

200～300 °C 数分～数十時間

バイオマスを高温高圧水中で処理することによって、炭化物を得る

スラリー燃料としての検討（日揮）
脱水、脱炭酸による発熱量の向上
親水基の除去による脱水特性の向上
土壌還元による炭素固定



バイオマスの直接液化

300～400 °C 数分～数十分

バイオマスを高温高圧水中で処理することによって、油を生成

下水汚泥からの油回収（Aqua Renaissance オルガノ）
木材液化（小木）
微細藻類からの油の回収（渡邊）



バイオマスの超臨界水ガス化

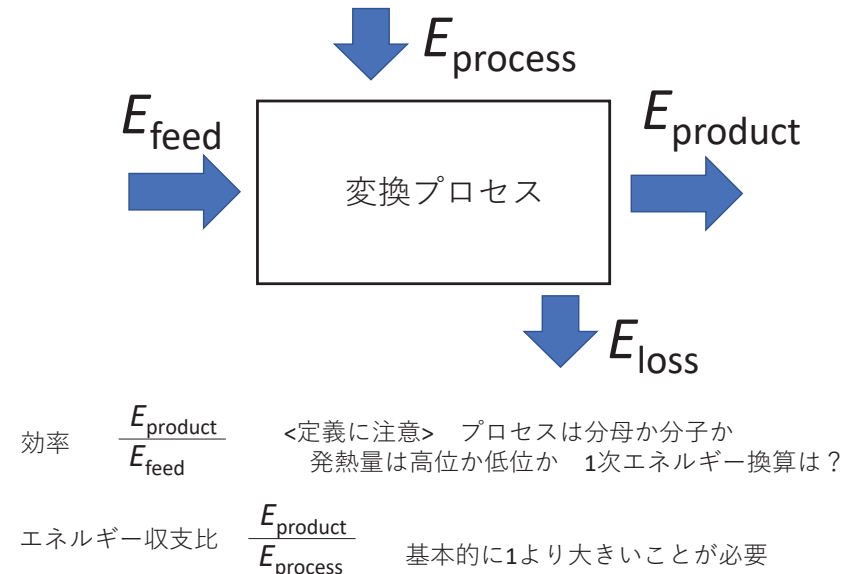
400～600 °C 数分～数十分

バイオマスを高温高圧水中で処理することによって、可燃性ガスを得る

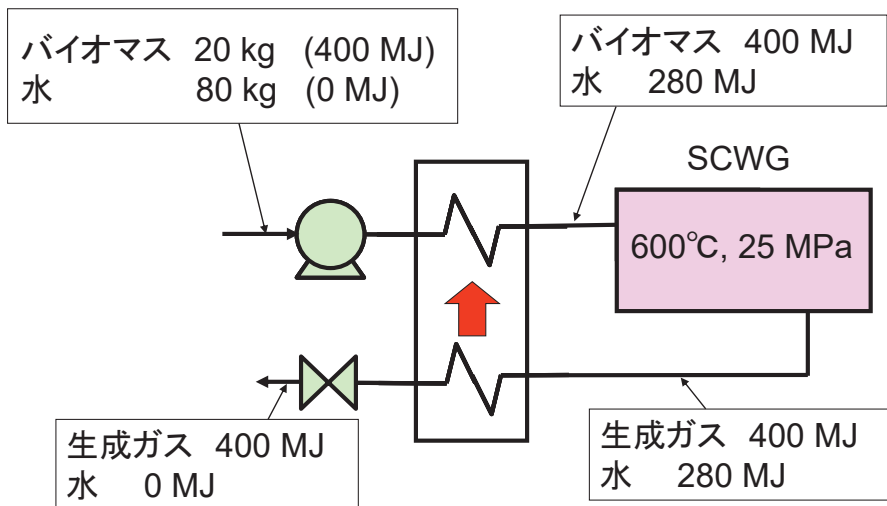
金属触媒を用いた400 °C程度でのガス化
（Pacific Northwest Laboratory）
アルカリ触媒を用いた600 °C程度でのガス化
（Karlsruhe Institute of Technology）
炭素系触媒を用いた600 °C程度でのガス化
（中国電力・広島大学・東洋高压・産総研）



効率とエネルギー収支比



水熱技術のEPR



$$\frac{E_{\text{product}}}{E_{\text{process}}} \text{ 熱回収をすれば理論的には圧縮動力のみ} \rightarrow \text{EPR} \sim 10$$

脱炭素への動き

京都議定書
パリ協定
エネルギー基本計画



2030年に(2013年)46%削減
2050年に完全脱炭素

石炭火力廃止
化石燃料利用に対する逆風
再生可能エネルギーとしての太陽光と風力の
コスト低下



エネルギー変換の方向と水熱技術の位置づけ

脱炭素を実現する

広島シナリオ

2022.9.21版

広島大学エネルギー超高度利用研究拠点 (HU-ACE)

広島シナリオって何？

脱炭素の広島シナリオとは、(1) 都市ガス、プロパンガス、ガソリン、軽油、灯油の使用機器をすべて電化し、(2) 農地等を活用して太陽光発電電力を供給、(3) 発電と電力需要のミスマッチに蓄電池で対応し、(4) 地中熱等の省エネ、バイオ燃料等の再エネ、電気自動車 (EV) 等の代替蓄電池をできる限り導入してコストの低減を実現するものです。

広島シナリオ作成の経緯

広島シナリオは、広島で毎年開催している「燃料とエネルギーに関する国際シンポジウム」でエネルギー関連の専門家の議論を通して生まれました。

太陽光発電の値段はどんどん下がっている

再生可能電力の発電時間と電気が必要な時間のミスマッチは蓄電を

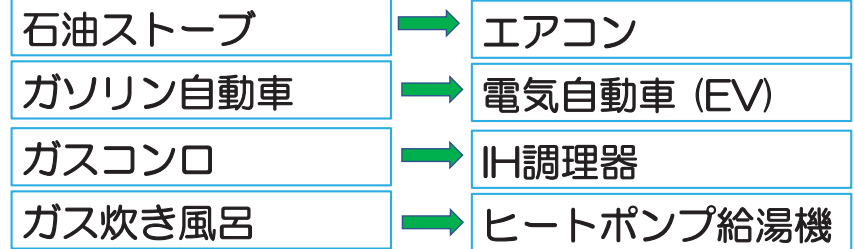
どうしても電気でまかなえない部分はバイオマスで対応

都市ガスやガソリンを使っているのは絶対に脱炭素はできない

蓄電池は高コスト。可能な限り安価なエネルギー貯蔵の導入を

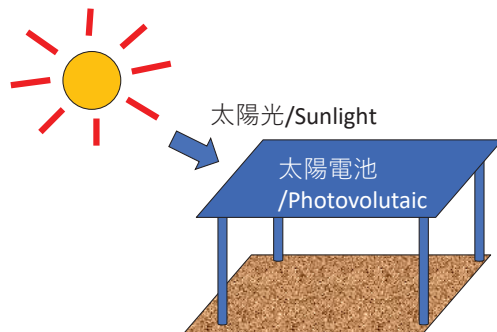
アクション1 電化を進める

都市ガス、プロパンガス、ガソリン、軽油、灯油などを使っていると、そこから発生する二酸化炭素は大気に放出されてしまいます。電化を行って、分散型の二酸化炭素排出源をなくします。



アクション2 太陽光電力を供給する

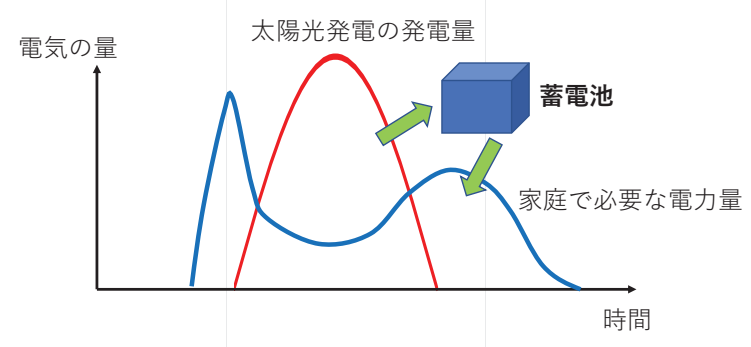
太陽光発電のコストは下がっています。耕作放棄地や農地でのソーラーシェアリング*を使って、太陽光電力を生産し、電気機器に提供します。



*ソーラーシェアリングとは、農地の一部に屋根をおいて太陽光発電を行いながら農業を営む発電法です。

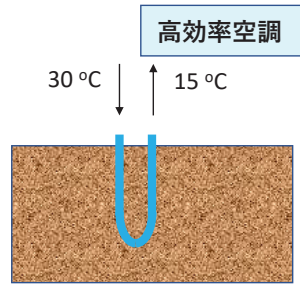
アクション3 蓄電池で電気をためる

太陽光発電は、夜間や悪天候の時には発電ができません。蓄電池を使って太陽光発電の電力をためておき、夜間や悪天候の時に必要な電力を取り出します。



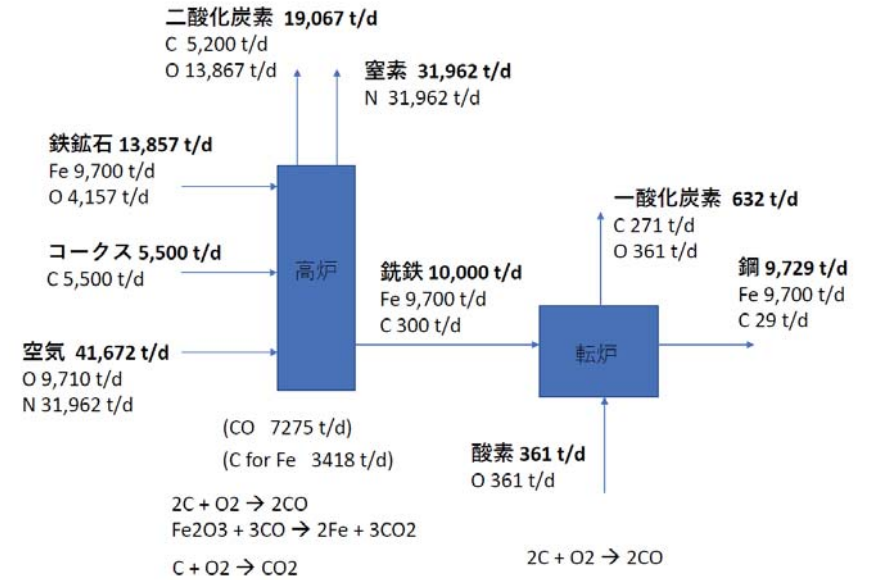
アクション4 適切な技術を入れる

蓄電池はまだまだ高コストです。また、電気では供給できないエネルギーもあります。熱需要には蓄熱、エアコンには地中熱*、飛行機燃料にはバイオ燃料など、適材適所のエネルギー利用を行います。



*地中の温度は年間を通して一定なので、暑いときには気温より冷たい水を、寒いときには気温より暖かい水を得て、空調の効率を上げることができます。

製鉄のプロセスフロー



炭素需要量—製鉄

製鉄における炭素所要量は、最終製品である鋼中の炭素量で考える。これは、還元反応そのものは水素でも利用可能であり、太陽光発電の変動対応として高価な蓄電池に代えて電解水素を得て利用することができることを考慮するものである。粗鋼は高炉で生産した銑鉄を転炉で処理して得られるものと、電炉で得られるものがあるが、2020年の粗鋼生産量は合計で83.2 Tgである。高炉で銑鉄とするためには鉄の融点を下げるために4%の炭を添加する必要があるが、鋼にするために必要な炭素の含有量はずっと低く、3 g-C/kg-steel程度である。このため、鋼に必要な炭素量は0.25 Tgと概算される。

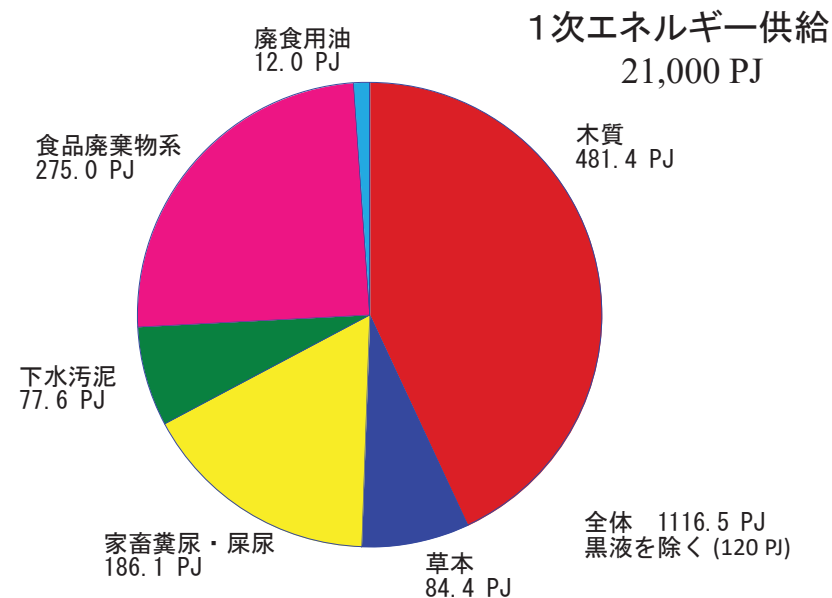
炭素需要量—ジェット燃料

ジェット燃料に必要な炭素量は、ジェット燃料に含有される炭素の量として概算する。2016年の我が国のジェット燃料使用量は98.1 hm³である。比重が0.76~0.80であるので、密度が780 kg/m³とすれば、8.46 Tgに相当する。ジェット燃料の成分はほぼ灯油と等しく、これは150~250 °Cの留分で、炭素数として9~15の炭化水素である。炭素数12のアルカン（ドデカン）を想定すれば、炭素含有率は0.85 kg-C/kgであるので、ジェット燃料に必要な炭素量は7.16 Tgと概算される。

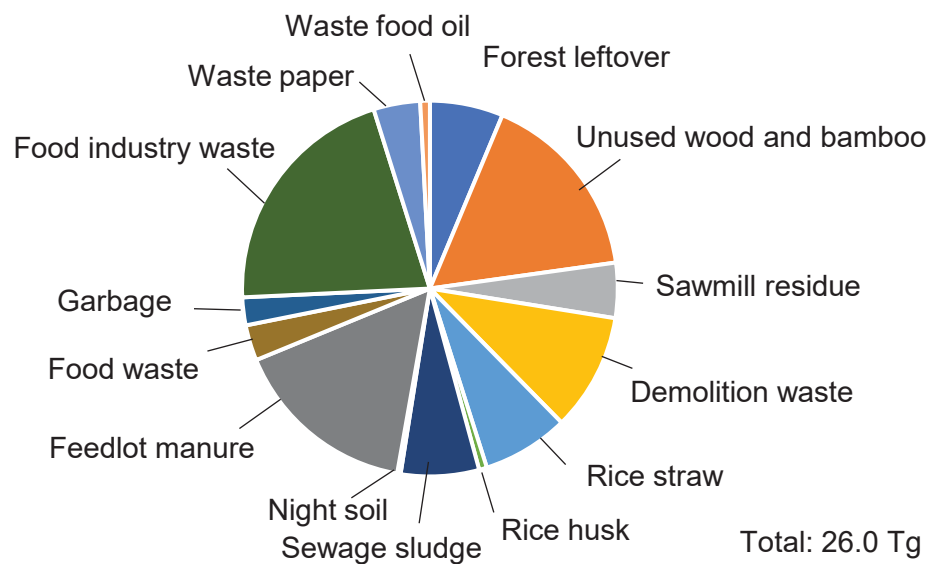
炭素需要量ープラスチック

プラスチックに必要な炭素量は、ジェット燃料と同様にプラスチックに含有される炭素量として概算する。我が国におけるプラスチック生産量は、2012年の値で10.5 Tgである。これには熱硬化性樹脂、熱可塑性樹脂の各種のプラスチックが含まれるが、その組成をエチレン、プロピレン相当のCH₂とすれば炭素の含有量は0.86 kg-C/kgとなる。プラスチックの生産に必要な炭素量は9.02 Tgと概算される。

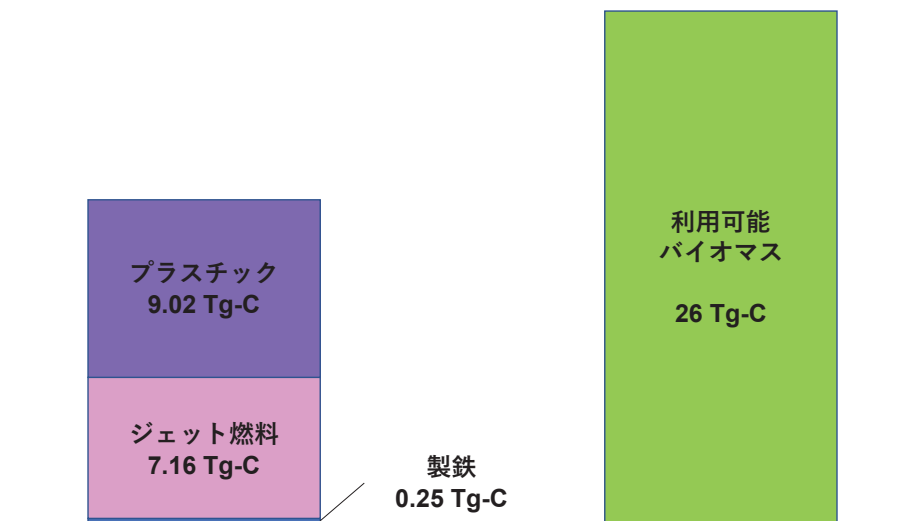
日本のバイオエネルギー利用可能量



日本のバイオマス炭素源利用可能量



日本の炭素需要量とバイオマス炭素源



バイオマスエネルギー利用

| | | | |
|-----------------------------------|----------------|----------------------------------|-------------|
| 物理的 変換 Physical | ペレット化 | Pelletization | |
| | 直接燃焼(専焼) 混焼 | Direct combustion Co-firing | 間接液化 MTP |
| 熱化学的 変換 Thermo- chemical | 熱化学的ガス化 | High temperature gasification | ↑ |
| | 急速熱分解 | Flash pyrolysis | |
| | 炭化 | Carbonization | |
| | 超臨界水ガス化 | Supercritical water gasification | |
| | 直接液化 | Direct liquefaction | |
| 生物化学的 変換 Bio-chemical | 水熱炭化 | Hydothermal carbonization | |
| | バイオディーゼル生産 | Biodiesel production | |
| | メタン発酵 | Methane fermentation | |
| | エタノール発酵 | Ethanol fermentation | |
| | ABE発酵 | ABE fermentation | |
| | 水素発酵 | Hydrogen fermentation | |

バイオマス炭素源の可能性

- 日本で必要となる炭素量はいくらなのか。
製鉄、ジェット燃料、プラスチックを合せて16.43 Tg (1643万 t)
- 日本のバイオマスはこれを供給できるだけ存在するのか。
炭素として26 Tg (2600万 t)あり、供給可能
- どのような技術が必要となるのか。
水素製鉄にバイオマス炭素を供給する技術
BtLとして不純物のないジェット燃料を得る技術
ガス化メタノール合成、MTPを介してプラスチックを得る技術

含水系バイオマスについては、超臨界水ガス化・水熱炭化

結言

- エネルギー変換とは 1次エネルギーを2次エネルギーに変えて使いやすくする。
- 亜臨界水・超臨界水を用いたエネルギー変換は 化石燃料、バイオマスなどに適用
- バイオマスへの適用は 水熱前処理、水熱炭化、直接液化、超臨界水ガス化
- 効率とEPR 水熱条件実現のエネルギーを回収
- 脱炭素との関連 従来からのパラダイムシフトは必要、含水系バイオマスの変換に適用
- 再生可能エネルギーの中での位置づけ 炭素源としてのバイオマス変換に、ガス化(間接液化+MTP)と炭化(製鉄)

ご清聴ありがとうございました。



HU-ACE
Hiroshima University
Advanced Core of Energetics

ISFE2023
July, 2023
Higashi-Hiroshima,
Japan