



探れば、未来が、見えてくる。

『超』探究 Summer School

2024.8.20 Tue



プログラム07 | 環境工学科

光合成の効率を実測する

～木質バイオマスの熱量分析と元素分析～

環境・資源・持続可能

バイオマスは、ゼロカーボン・エネルギーです。まずは、実際に燃焼ポンプ内でバイオマス試料を燃焼させ、熱量を体感。はたして、化石燃料を代替できるのか？ エネルギー統計と気候変動枠組条約から脱炭素のシナリオを一緒に考えましょう。熱の体験から、賢明なる未来人へ。大阪工大で、濃い時間を共有しましょう。

大阪工大・環境工での授業
講義「環境量論基礎」
演習「廃棄物固形化燃料の性質」
講義「公衆衛生リスク通論」

『超』探求サマー・スクール @ 大阪工業大学 工学部 環境工学科

光合成の効率を実測する —木質バイオマスの熱量分析と元素分析—

環境工学科 教授 渡辺信久



2024年度実施

異常な暑さ・・・気候変動か

- 全国の平均気温は、平年と比べて2.16度高くなり、気象庁が1898年に統計を取り始めてから126年間で最も暑い7月となりました。記録を更新するのは去年（2023年）に続いて2年連続です。(2024年 8月 6日 NHK)

- 温室効果ガス

地上からの反射光を吸収し、熱として地上へ戻す役割



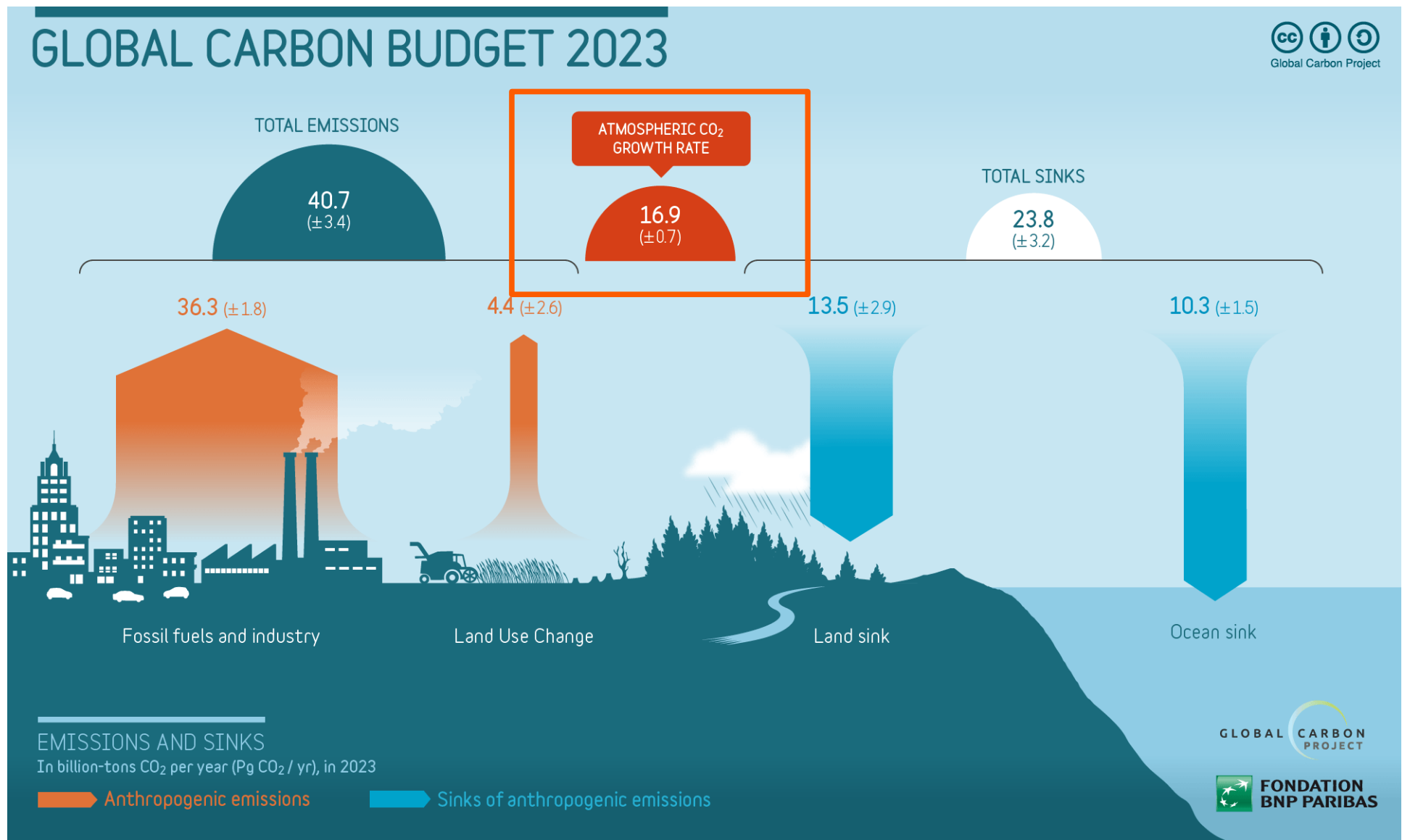
- 地球の平均気温: + 14°C

(もし、大気がなければ地球の平均気温は、-19°C)

- 化石燃料の使用で大気中CO₂は増加する → 温暖化

- Cについて見てみましょう

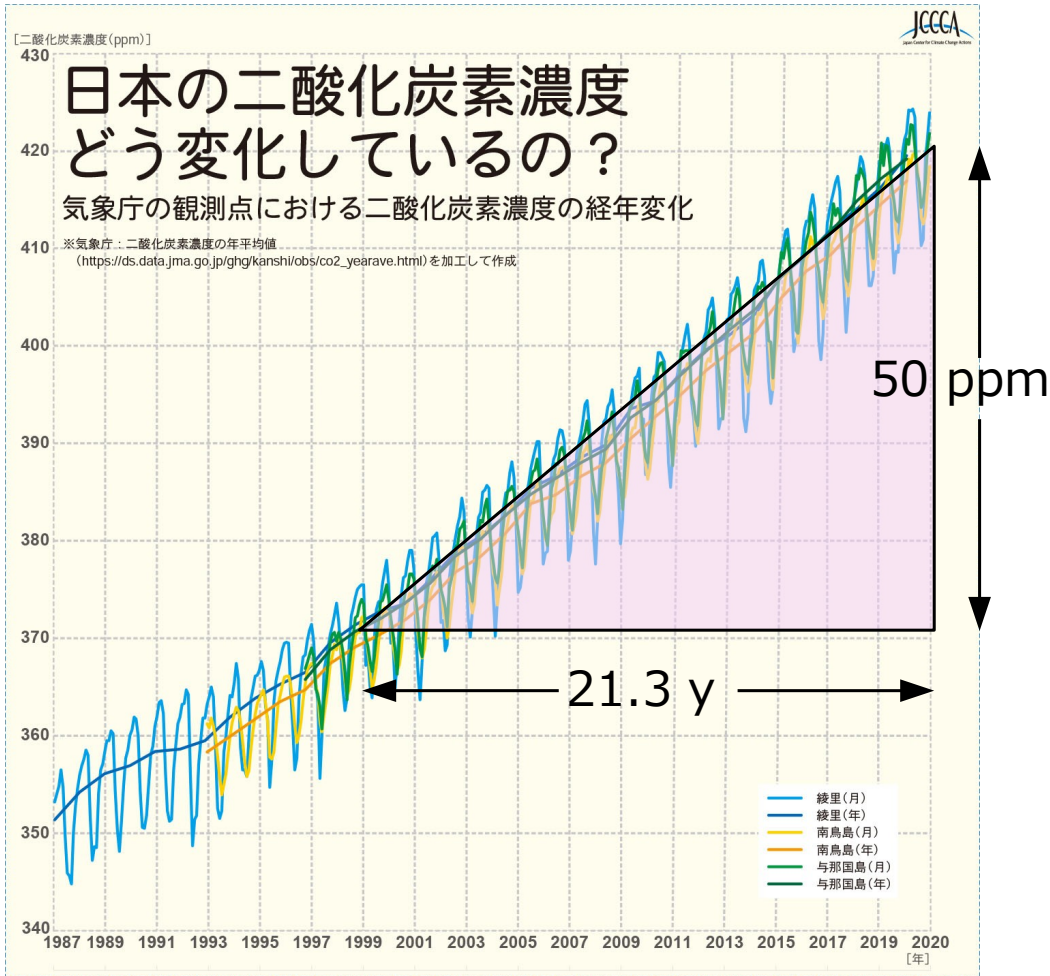
炭素収支 (大気中CO₂ 毎年16.9 PgCO₂ずつ増加) <= 検証!



Friedlingstein et al. 2023 Global Carbon Budget 2023. Earth System Science Data.
<https://globalcarbonatlas.org/budgets/carbon-budget/>

(よく見る)グラフ: 大気中CO₂濃度(いま、420ppm)から

1年あたりのCO₂量の上昇

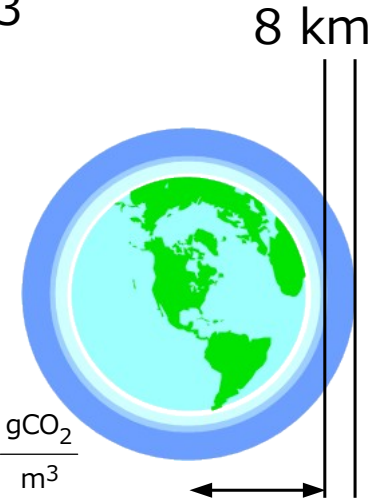


$$\frac{\Delta(\text{CO}_2\text{量})}{\Delta t} = \frac{50\text{ppm} \times \text{大気}\text{の}\text{量}}{21.3}$$

$$\begin{aligned} \text{大気}\text{の}\text{量} &= 4\pi r^2 \times h \\ &= 4 \times 3.14 \times (6400000)^2 \times 8000 \\ &= 4.1 \times 10^{18} \end{aligned}$$

50ppm とは

$$\frac{50 \text{ mL}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1}{1000} \frac{\text{L}}{\text{mL}} \times \frac{44}{22.4} \frac{\text{gCO}_2}{\text{L}} = 0.0982 \frac{\text{gCO}_2}{\text{m}^3}$$



6400 km

$$\frac{50\text{ppm} \times \text{大気}\text{の}\text{量}}{21.3} = \frac{0.0982 \frac{\text{gCO}_2}{\text{m}^3} \times 4.1 \times 10^{18} \text{ m}^3}{21.3}$$

$$= 18.9 \times 10^{15} \text{ gCO}_2$$



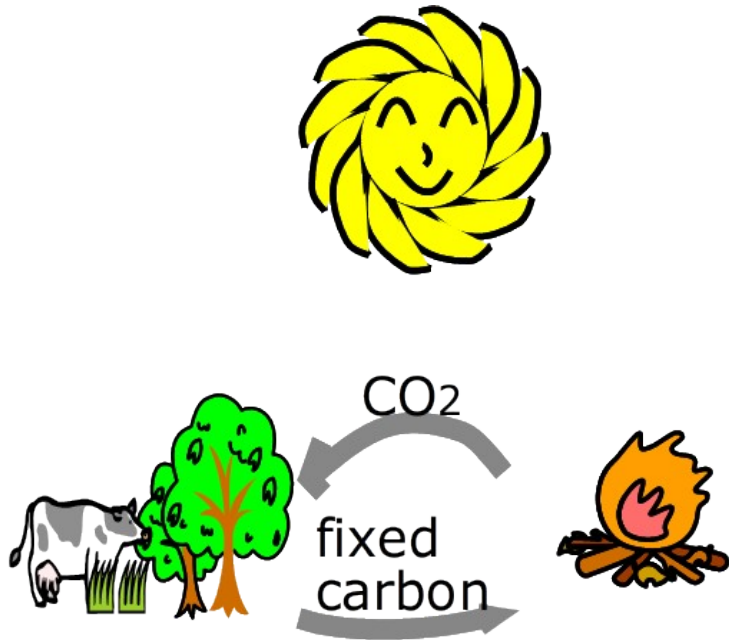
16.9 Pgとおおむね一致

JCCCA 全国地球温暖化防止活動推進センターより

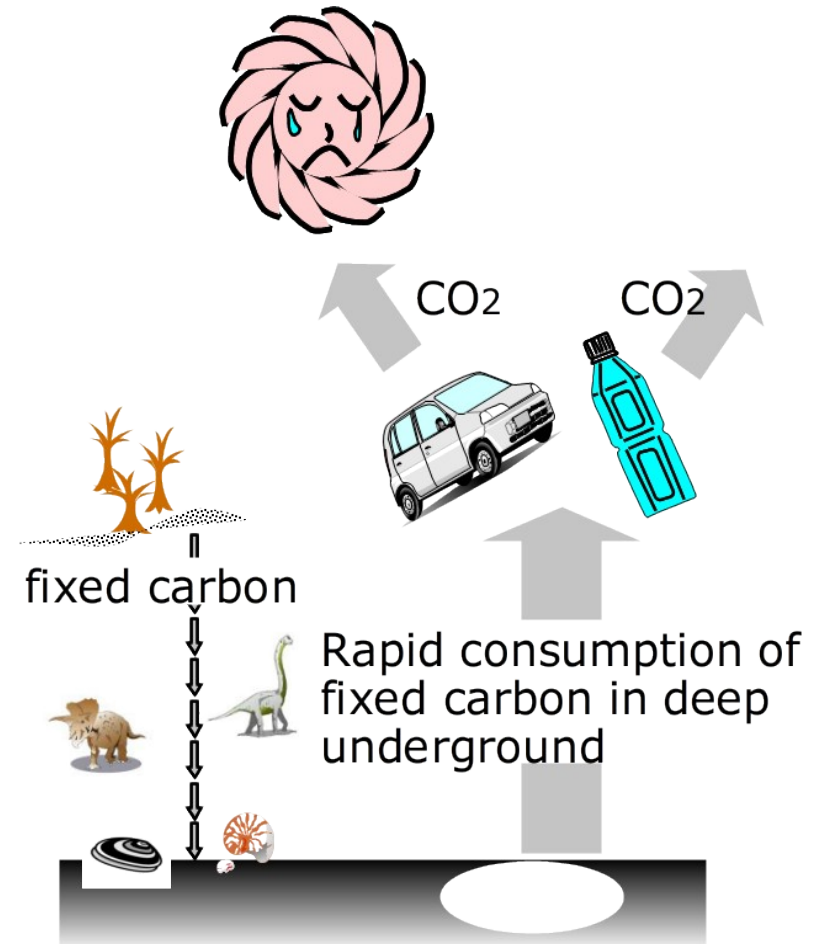
しかし、カーボンニュートラルであれば、大気中CO₂は増えない

C・Nである

C・Nでない



CO₂ from combustion of biomass will be absorbed by next generation biomass.



Long period is needed to recover "underground forest."

これがバイオマスエネルギーだ!

バイオマスってどれくらい頼っていいのですか？

- 今のエネルギー需要をまかなえるのですか？

「今と同じ」は全部は無理かもしれない。

「持続可能」なエネルギー消費はどれくらいだろうか？



- ソーラーパネルのほうがすごいんじゃないの？

たしかに、エネルギー効率にはソーラーパネルのほうが上回っています。

しかし、エネルギー密度の高い液体・固体燃料を得るには、バイオマスが有利なのです。

比較! バイオマス vs ソーラー

光合成の効率を推定する

$$\text{光合成の効率} = \frac{\text{↑}}{\text{↓}}$$

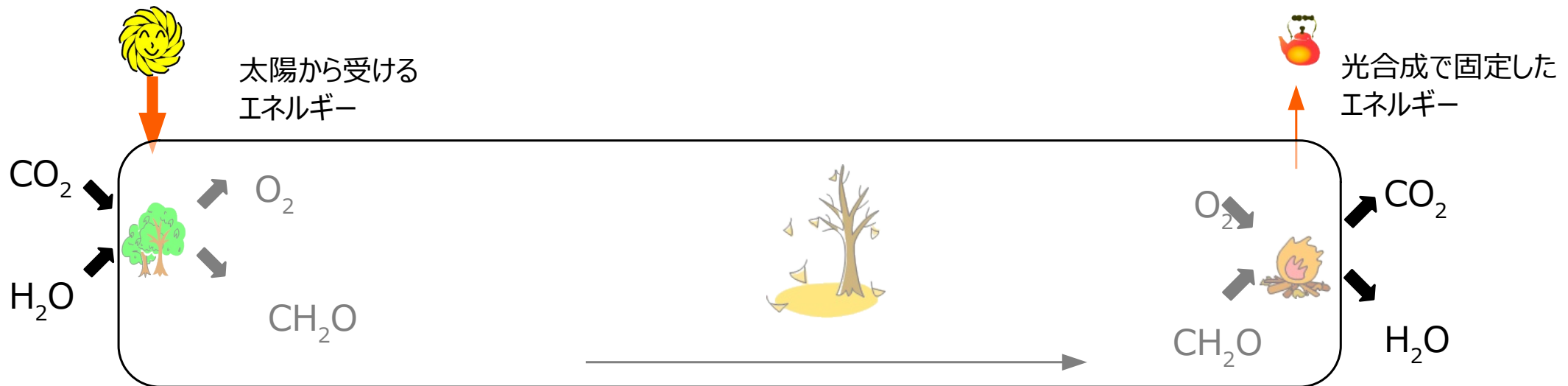
↑ ← 燃烧で取り出すことができるエネルギー
= 植物成長量 × 燃烧での発熱量

↓ ← 太陽から降り注ぐエネルギー 通年で150 W/m²

光合成の効率の計算方法

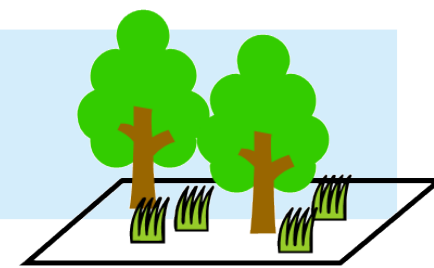
光合成の効率 = $\frac{\text{↑ 燃烧で取り出すことができるエネルギー}}{\text{↓ 太陽から降り注ぐ全エネルギー}}$

燃烧の際には熱(燃烧エネルギー)を取り出すことができますから、その分のエネルギーを固定したとみなせます。光合成の際に受けているエネルギー(太陽から降り注ぐ全エネルギー)を分母に、燃烧で取り出すことができるエネルギーを分子にした分数で、エネルギーを固定する効率を計算することができます。



まず文献から 1

バイオマス成長速度 vs 平均日射量



● バイオマス成長速度

- 9 ~ **20** ~ 164 t ha⁻¹ y⁻¹

● 平均日射量

- 106 ~ **150** ~ 239 W m⁻²

表 1-2 バイオマスの生産性と光合成効率

バイオマス	産地	年間収量 乾燥重量 [t/ha. y]	平均 日射量 [w/m ²]	光合成 効率 [%]
植物プランクトン	デンマーク	8.6	133	0.36
ホテイアオイ	米国(ミシシピー)	11.0~33.0	194	0.31~0.94
スイートソルガム	米国(テキサス)	22.3~40.0	239	0.55~0.99
トウモロコシ	米国(ミネソタ)	24.0	169	0.79
針葉樹 (0~21年)	英国	34.1	106	1.79
米	豪州(ニューサウス ウェールズ)	35.0	186	1.04
トウモロコシと ライ麦 (2毛作)	オランダ	37.0	106	1.94
熱帯樹林	西インド諸島	59.0	212	1.55
サトウキビ	米国(ハワイ)	74.9	186	2.24
サトウキビ	インドネシア(ジャワ)	86.8	180	2.59
ネピアグラス	プエルトリコ	106	212	2.78
緑藻類	タイ	164	186	4.90

注) Donald L. Klass. Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals, p.70.
Academic Press (1998) から Table 3.1 の一部

横山伸也 バイオエネルギー最前線、森北出版

陸上穀類で1~3%

この計算式は?

まず文献から 2 バイオマス成長速度 vs 平均日射量



炭水化物は
4 kcal/g

● バイオマス成長速度

- 9 ~ **20** ~ 164 t ha⁻¹ y⁻¹

$$\frac{\text{バイオマス成長速度}}{\text{平均日射量}} = \frac{20 \frac{\text{t}}{\text{ha}} \frac{1}{\text{y}} \times 4 \frac{\text{kcal}}{\text{g}}}{150 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}}$$

● 平均日射量

- 106 ~ **150** ~ 239 W m⁻²

単位....



$$\frac{20 \frac{\cancel{\text{t}}}{\cancel{\text{ha}}} \frac{1}{\cancel{\text{y}}} \times \frac{1}{10^4} \frac{\cancel{\text{ha}}}{\cancel{\text{m}^2}} \times \frac{10^3}{1} \frac{\cancel{\text{kg}}}{\cancel{\text{t}}} \times 4000 \frac{\text{cal}}{\text{g}} \times 4.2 \frac{\text{J}}{\text{cal}}}{150 \frac{\text{J}}{\text{m}^2} \frac{1}{\text{s}} \times \frac{3600}{1} \frac{\text{s}}{\text{h}} \times \frac{24}{1} \frac{\text{h}}{\text{d}} \times \frac{365}{1} \frac{\text{d}}{\text{y}}} \times 100 = 0.72\%$$

高校生の皆さんへの福音：分母と分子が等しい係数をかけて、約分すれば、機械的に、単位換算ができます

実測(触って熱さを体験)

光合成の効率 = $\frac{\text{↑}}{\text{↓}}$

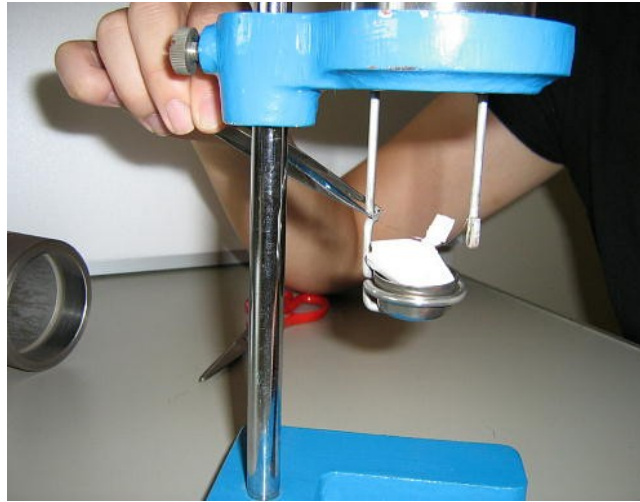
↑ 燃烧で取り出すことができるエネルギー
= 植物成長量 × 燃烧での発熱量

↓ 太陽から降り注ぐエネルギー 通年で150 W/m²

燃焼熱の実測：燃焼ボンブ



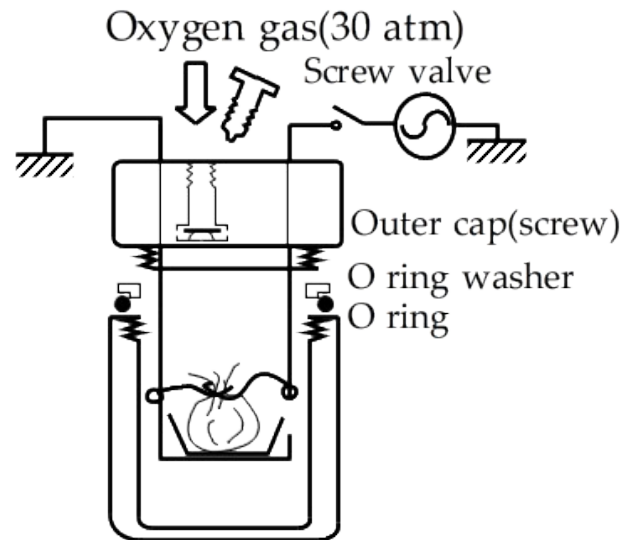
燃焼ボンブの部品



試料を雁皮紙に包んで
皿にのせて、ニッケル線で接続

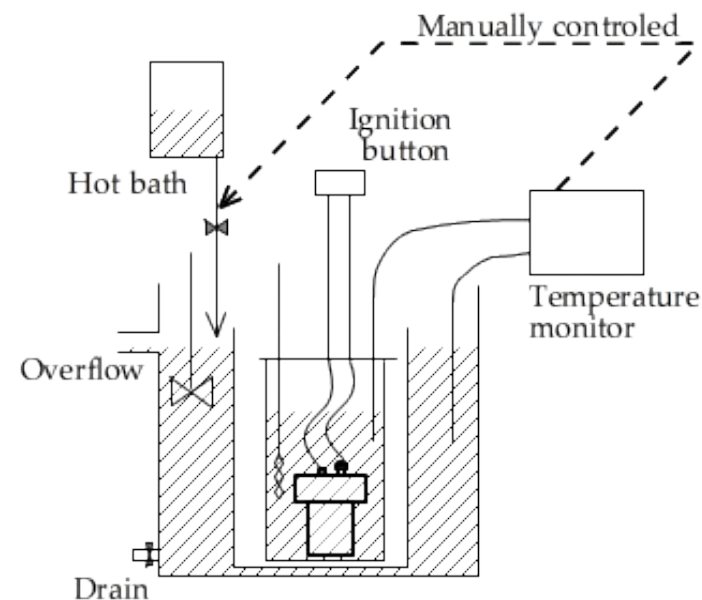
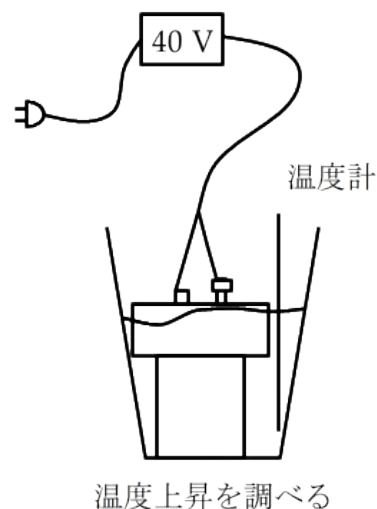


酸素圧入



実験授業での課題
「動画による説明」
をご覧ください。

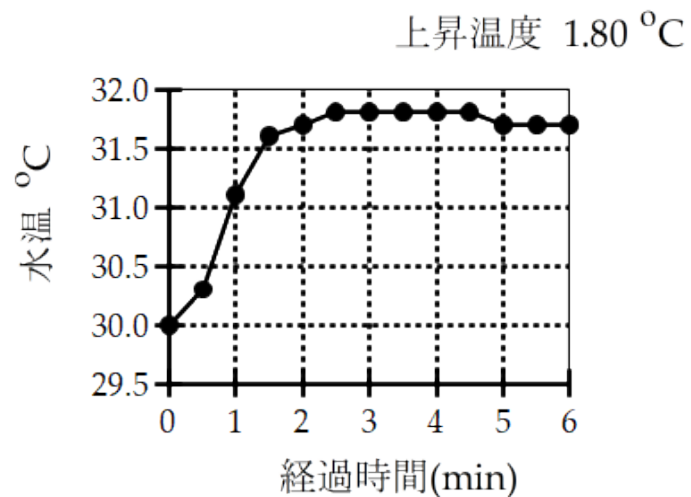
燃焼熱の実測：燃焼させて水温の上昇を調べる



熱量測定装置

内筒の温度上昇に合わせて、外筒に熱水を注ぎ、内筒と外筒の温度が等しくなるように調整する。

→ 正確に熱量を計測できる。



計測の例

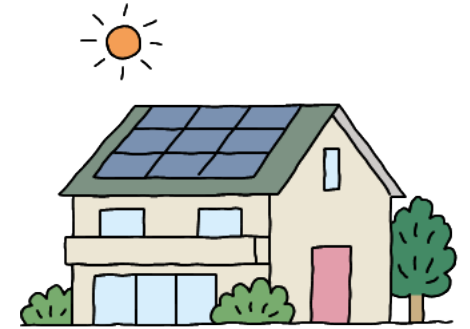
イメージ図

実際に、ポンプを触って熱さを体験！

ソーラーパネルの効率と比較する

ソーラーパネルの効率は「??%」というけれど

- 20%とは、「直達日射1000 W/m²に対して、200 Wの発電をする」の意味。
- しかし、実際には、
 - － 昼間だけ発電する
 - － 「日光に垂直」は無理
 - － 雨天・曇天日は発電なし
- 経験的年間発電実績を使用



1000 W パネル の年間発電量 = 1000 kWh

太陽光発電協会(<https://www.jpea.gr.jp/faq/563/>)

ソーラーパネル 1 m²、1 yでのエネルギーは、年間、 7.2×10^8 J

1000 W パネルの年間発電量 = 1000 kWh

1000 W \longleftrightarrow 1000 kWh

1 m² 20%のソーラーパネル

1 m² \longleftrightarrow 200 W \longleftrightarrow kWh

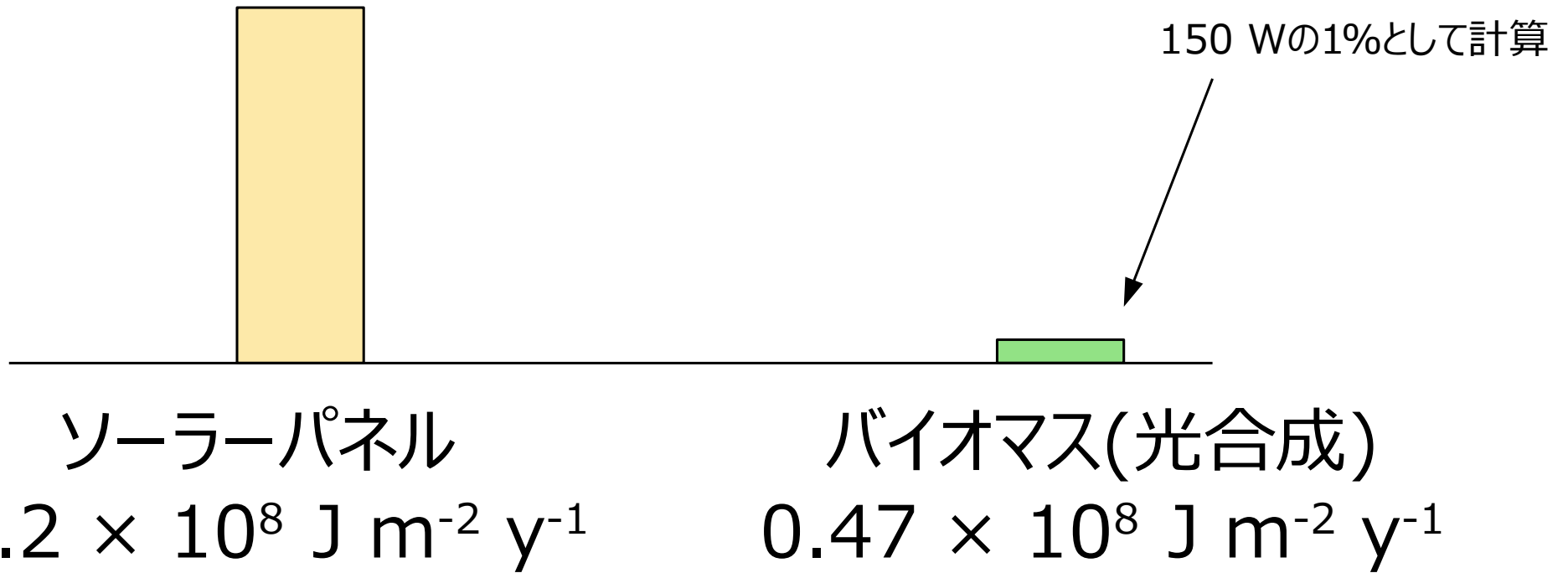
200

200 kWhとは・・・

1 kWhとは、1000 W で、1時間 = 1000 J/s で 3600 s = 3 600 000 J (360万ジュール)

$$200 \text{ kWh} = 3.6 \times 10^6 \times 200 = 7.2 \times 10^8 \text{ J}$$

年間に得るエネルギー量の比較: ソーラーパネルとの比較



「ソーラーパネルが圧倒的」 vs 「光合成も結構パワフル」

すくなくとも、人類が入手しているエネルギー技術は、すでに光合成を上回っています。

ただし、固体・液体燃料(エネルギー密度が高い)バイオマスも、その重要を失いません。

また、バイオマスは、プラスチック代替材料としての役割もあります。

【研究 ちょっと難しめの話】 バイオマスプラスチック 真贋鑑定

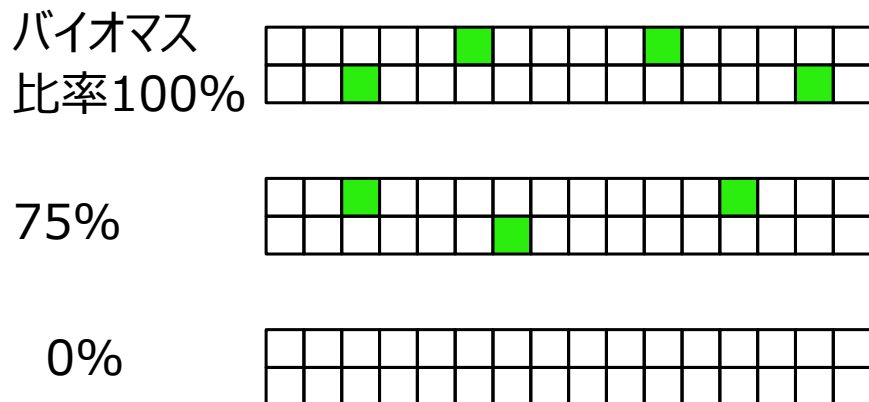
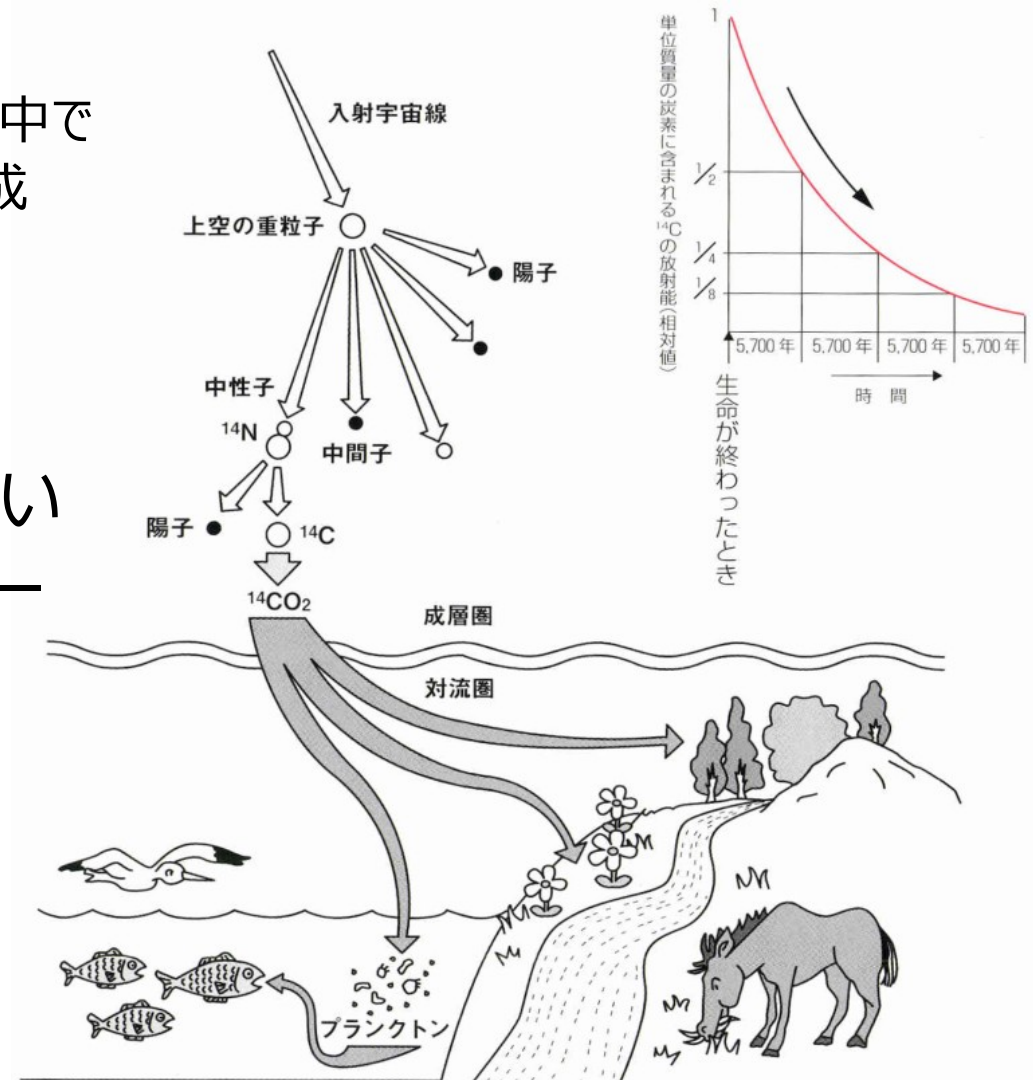
化石燃料に頼らない未来のため、
バイオマスプラスチックが開発・使用されている

疑ったことはないですか？ 確認したくはないですか？

原理 ^{14}C が入っていればバイオマス、なければ化石燃料

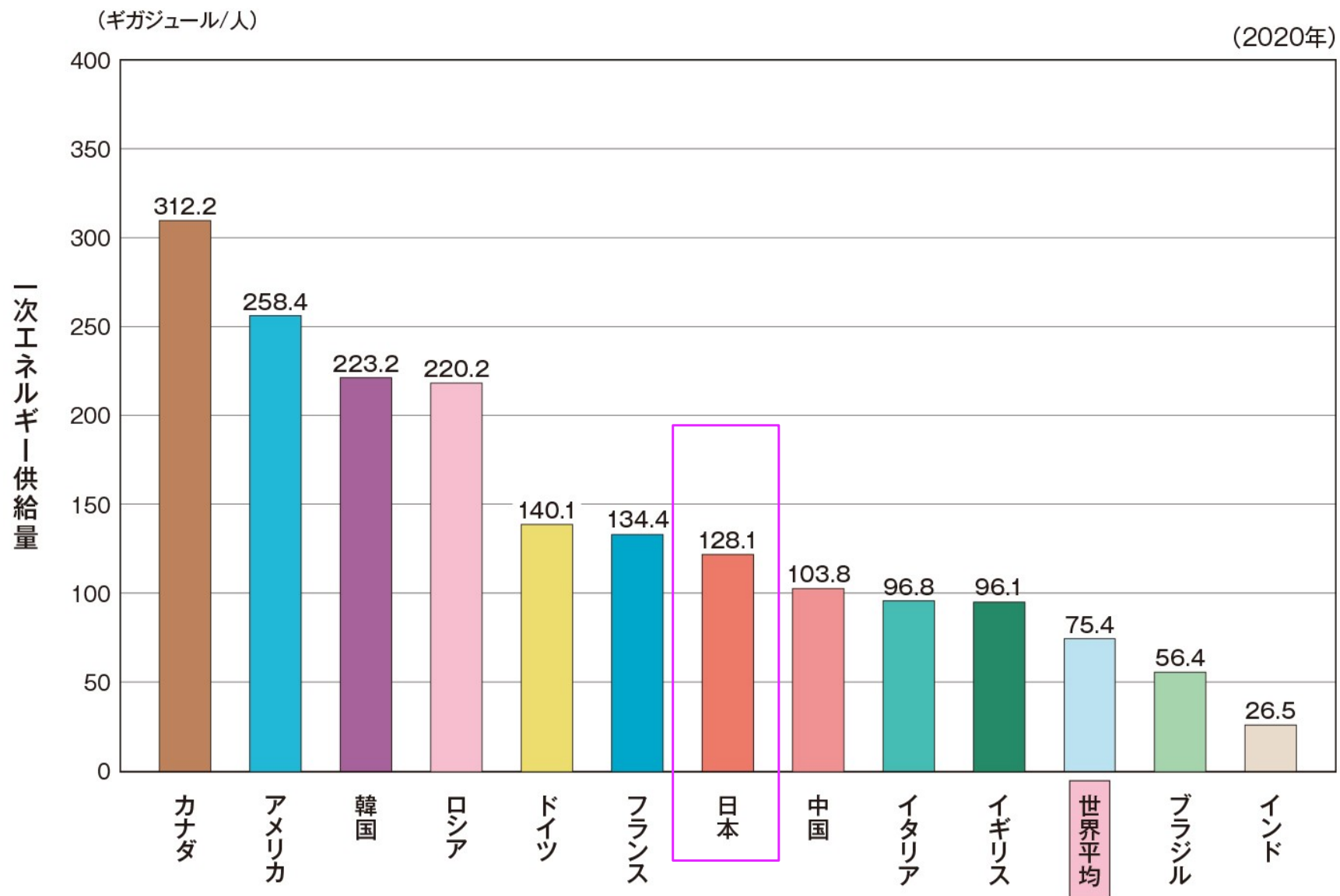
^{14}C って・・・?

- 生きている炭素は ^{14}C を含有する。
 - Cが呼吸・光合成で循環している間に、大気中で宇宙線由来の中性子と窒素が反応して生成 ($^{14}\text{N} + n = ^{14}\text{C} + p$)した ^{14}C が混ざる。
- 化石燃料の炭素は ^{14}C を含まない。
- 化石燃料であれば、 ^{14}C は含まれないが、バイオマス燃料であれば、 ^{14}C が一定量含まれる。



大きな話

世界の一人あたりの一次エネルギー供給量



日本の一次エネルギー

【第211-1-3】日本のエネルギーバランス・フロー概要(2021年度)

単位:10¹⁵J

18670 × 10¹⁵ J y⁻¹

一人あたり

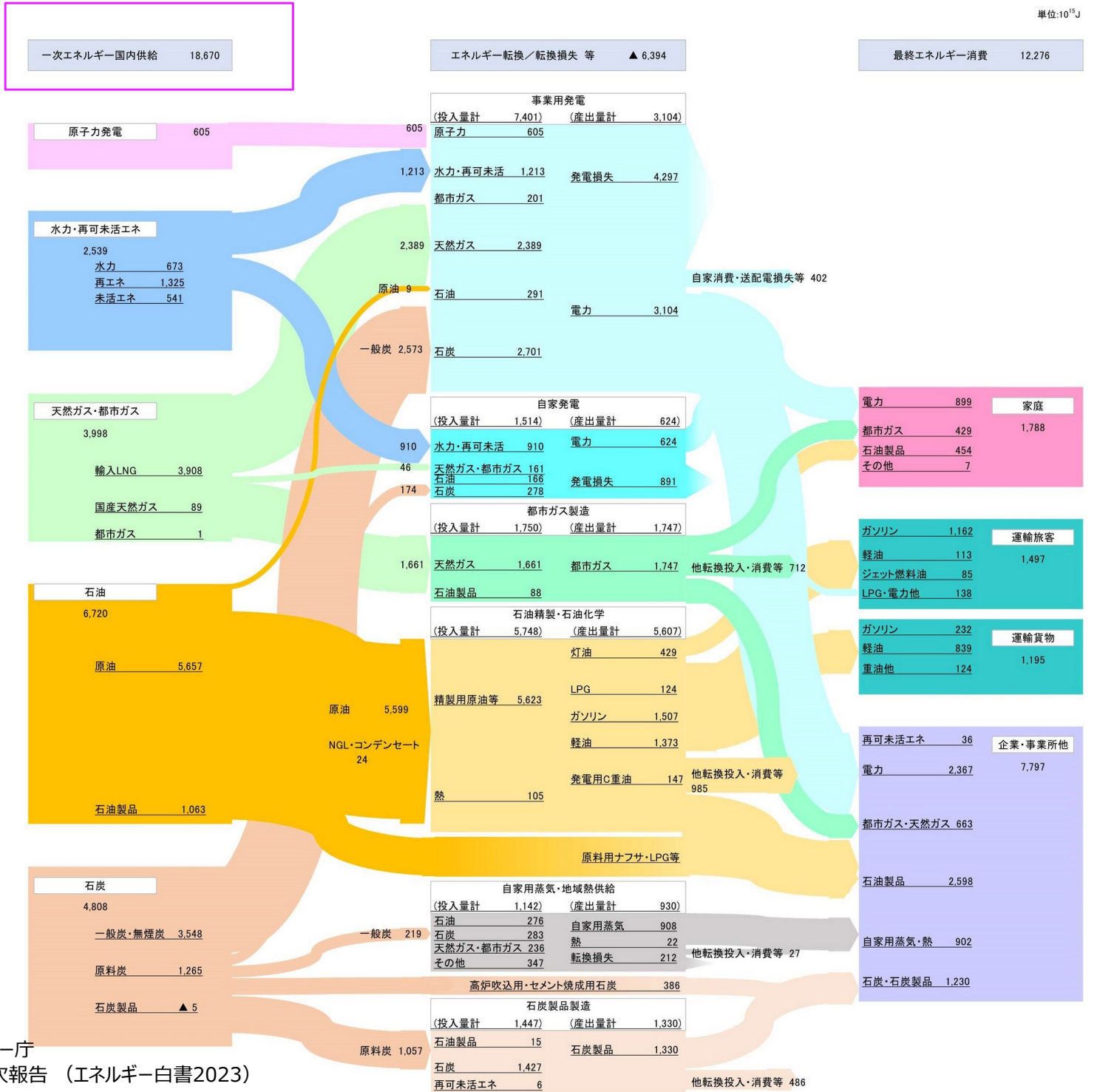
$$\frac{18670 \times 10^{15}}{1.26 \times 10^8} = 1.48 \times 10^{11}$$

一人一日あたり

$$\frac{1.48 \times 10^{11}}{365} = 40.55 \times 10^7$$

食べる分の何倍?

$$\frac{40.55 \times 10^7}{2000 \times 4.2 \times 1000} = 48.3$$



一次エネルギー供給量の推移

全国地球温暖化防止活動推進センター 作成(許諾を得て使用)

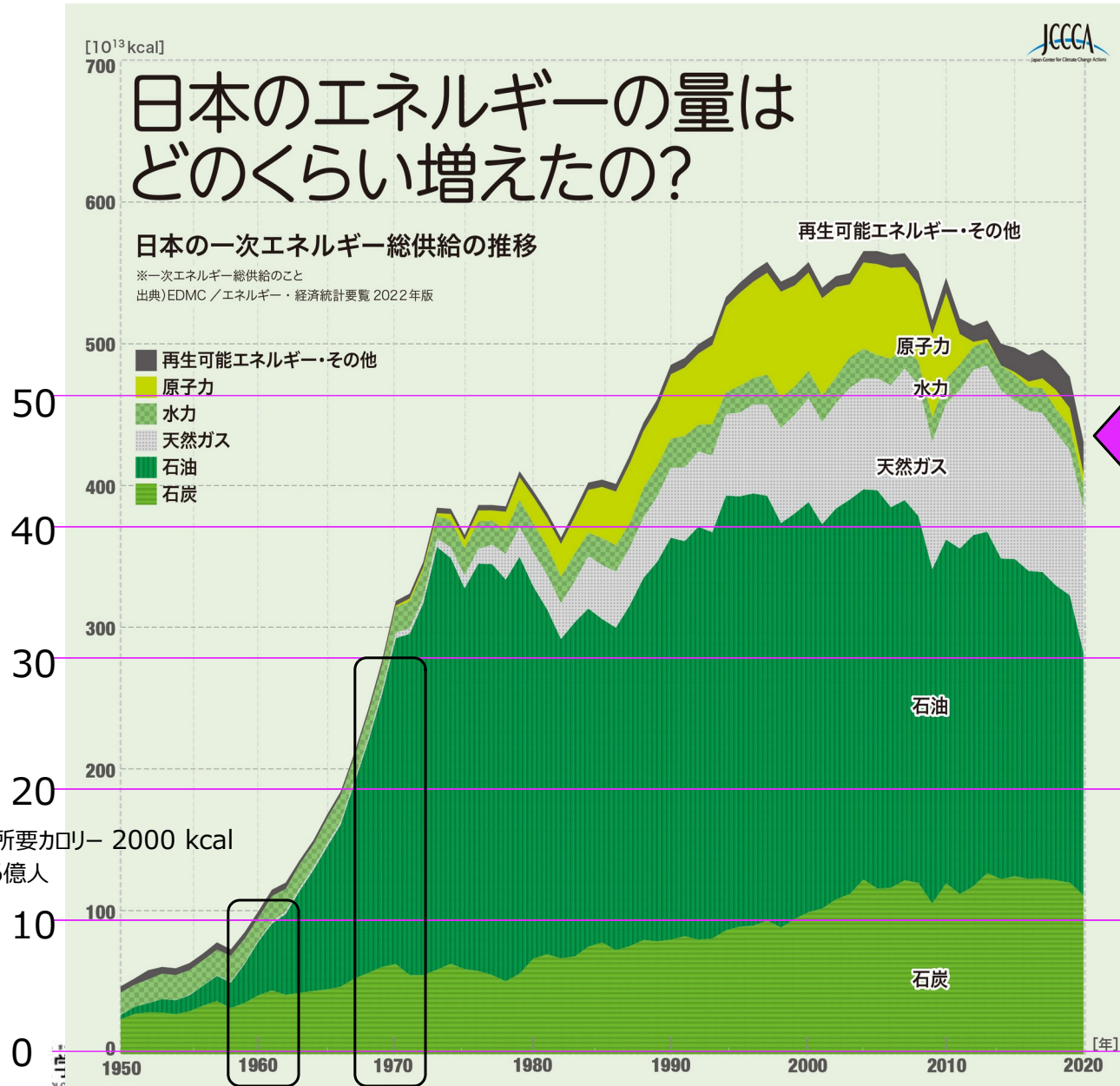
[10¹³ kcal]

日本のエネルギーの量は どのくらい増えたの？

日本の一次エネルギー総供給の推移

※一次エネルギー総供給のこと
出典)EDMC / エネルギー・経済統計要覧 2022年版

- 再生可能エネルギー・その他
- 原子力
- 水力
- 天然ガス
- 石油
- 石炭



現在のエネルギー
消費量は
食べる分の48倍

1970年 30倍

1960年 10倍

一人一日所要カロリー- 2000 kcal
人口1.26億人
で計算

意見を持とう!

「食べる分の何倍」で次の世代へ引き継ぐか?

省エネ、効率向上...



探れば、未来が、見えてくる。

『超』探究 Summer School

2024.8.20^{Fri}



プログラム07 | 環境工学科

光合成の効率を実測する

～木質バイオマスの熱量分析と元素分析～

環境・資源・持続可能

バイオマスは、ゼロカーボン・エネルギーです。まずは、実際に燃焼ボンブ内でバイオマス試料を燃焼させ、熱量を体感。はたして、化石燃料を代替できるのか？ エネルギー統計と気候変動枠組条約から脱炭素のシナリオを一緒に考えましょう。熱の体験から、賢明なる未来人へ。大阪工大で、濃い時間を共有しましょう。

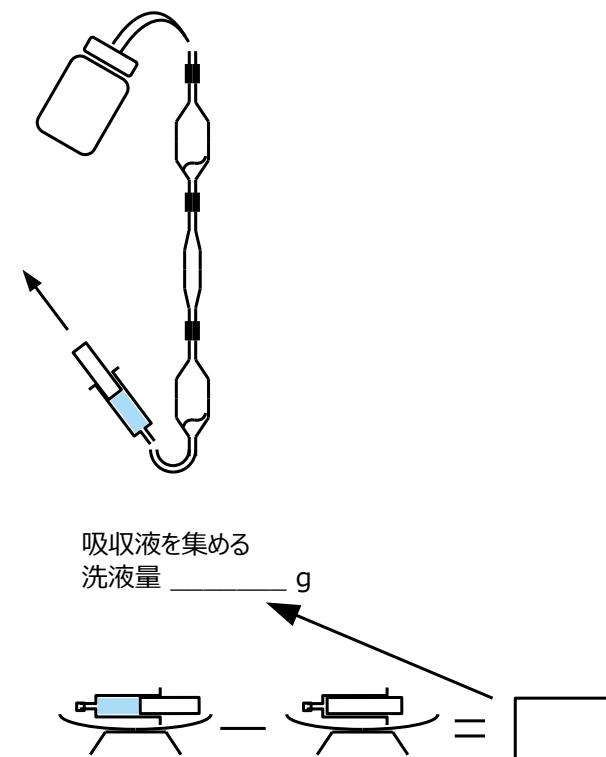
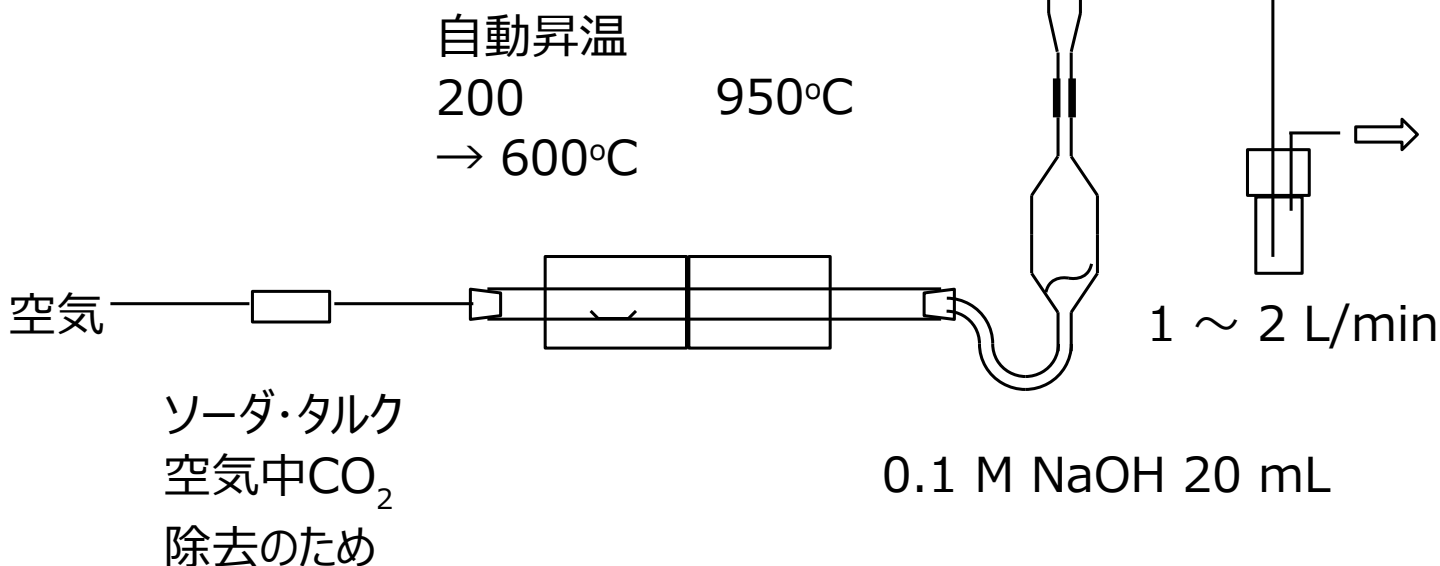
亮

現在準備中(京大研究の下請け)

^{14}C 比率の計測は、試料をグラファイト化した後、
加速器-質量分析装置で ^{14}C - ^{12}C を分離・定量する。

しかし、試料量は、mg量とわずかであり、廃棄物
固形化燃料のように、均一分取が不可能な試料には、
直接適用できない。

1 g程度をとって、燃焼分解・ CO_2 捕集することで、
代表性のある試料採取を行う。



空気中の CO_2 を吸収させないために、
シリンジに密栓する。

↓
酸性して CO_2 として取り出し、
 ^{14}C : ^{12}C を計測する。