

次世代スーパーコンピュータ戦略委員会(第6回)ヒアリング資料

光合成に学ぶ、太陽エネルギー利用技術の構築 ～シリコン、色素増感型に続く、新たな動作原理を求めて～

2009年2月25日

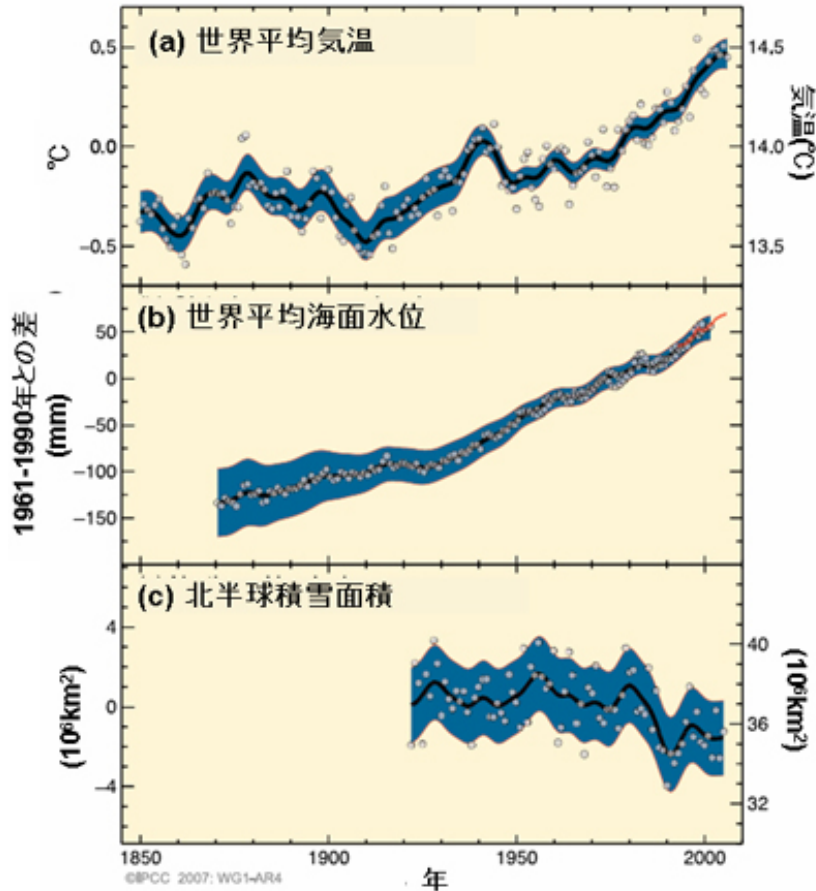
応用物理学会:エネルギー・環境研究会代表

内田 晴久

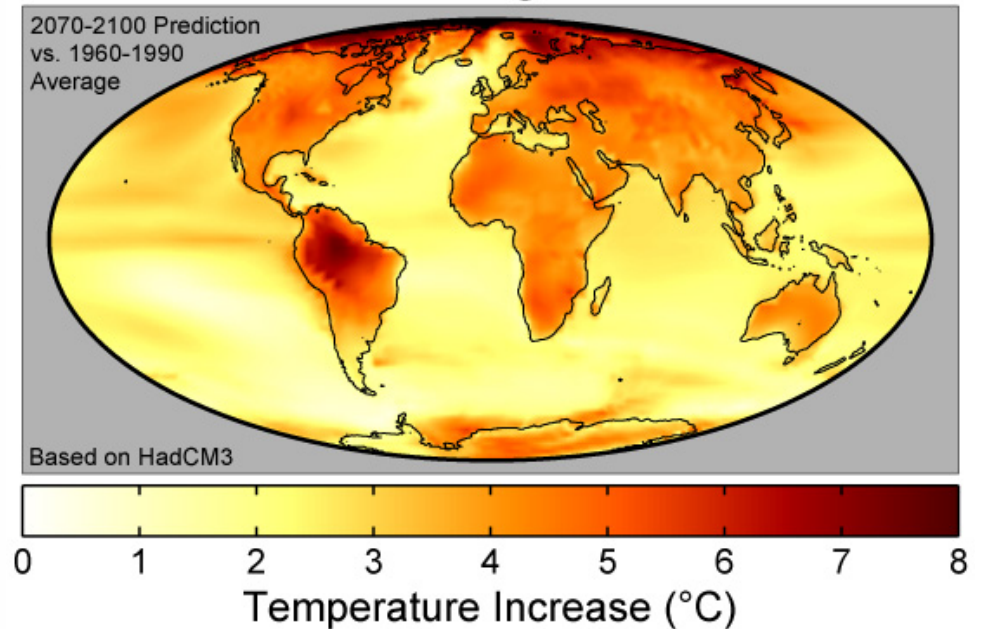
地球温暖化の背景にあるエネルギー問題

地球温暖化とエネルギー問題は、コインの裏と表の関係

気温、海面水位及び北半球の積雪面積の変化



Global Warming Predictions



1960～1990年の平均値に対する2070年から
2100年の地表面の平均気温変化量の予測

人為的な温室効果ガスが温暖化の原因である
確率は9割を超えると報告された(IPCC)。

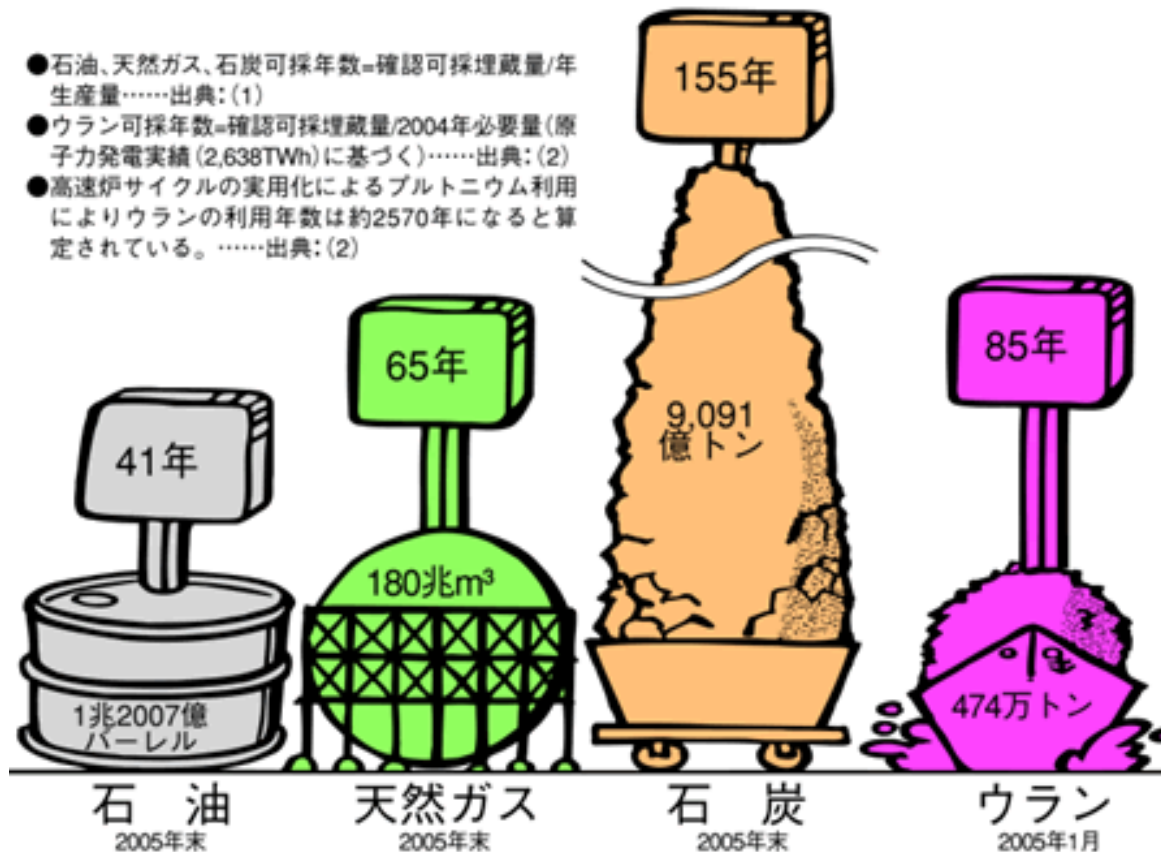


化石燃料からの脱却が、最大の課題

出展: "IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007"

天然エネルギー資源枯渇の予測

世界のエネルギー資源確認埋蔵量



出典:(1)BP統計2006
(2)URANIUM2005

出典 (財)エネルギー総合工学研究所HPより

<http://www.iae.or.jp/energyinfo/energydata/data1008.html>

“1次エネルギー”リソースとしての太陽エネルギー

太陽光エネルギー**1**時間分で世界の**1**年分。

地球上の全太陽エネルギー
 $1.2 \times 10^{14} \text{ kW}$

日本の全太陽エネルギー
 $5 \times 10^{10} \text{ kW}$

地球のエネルギー消費量の
10,000倍

日本のエネルギー消費量の
100倍



太陽光エネルギーの利用が本質的な解決策

太陽エネルギー利用デバイスの現状と課題

- ◇ シリコン太陽電池
 - ・変換効率30%超は困難。2020年18%
 - ・2030年に、1KW／時、7円を目標
- ◇ 色素増感太陽電池
 - ・実用化は将来
 - ・理論変換効率は34%、現在は11%強
- ◇ 量子ドット太陽電池
 - ・理論変換効率は70%未満
 - ・ロスアラモス研究所でも研究
- ◇ 人工光合成(光触媒水素生成)
 - ・変換効率は現状1%未満
 - ・将来的には有望

世界の新しい動き：グリーン・ニューディール政策

世界的な景気後退が進む中、**米国**ではオバマ大統領が、景気対策として**新エネルギー開発**に**10年間で1500億ドル**（約14兆円）を投資して500万人の雇用を創出することを提唱。**ドイツ**や**韓国**などでも、同様の動き。

日本版グリーン・ニューディール政策として、省エネ家電や電気自動車などの次世代エコカーの開発・普及の他、**太陽光発電**や**風力発電**などの新エネルギー活用への集中投資促進を行うことを表明。

太陽エネルギー利用が、その基軸のひとつ



日本の先進的な材料・デバイス技術を、マテリアルシミュレーションで強化して、世界をリードするチャンス

米国の太陽エネルギー活用関連プロジェクト

◇**NNI** (National Nano-technology Initiative) で10年近く前から
関連基礎研究に着手(2000～、クリントン政権時代)

◇**米国エネルギー省(DOE)科学局**が、戦略的基礎研究を推進中
「燃料生産」、および「発電」、が二大テーマ (HELIOS PJ)
参加機関はほぼ同数(12～13)で、予算は燃料生産がやや多い
「燃料生産」では、「光合成」の機構解明や、一部機能タンパク利用など
ローレンス・バークレー国立研、イリノイ大、モンタナ州立大、レンセラー工科大
ワシントン大、エール大、 などが参加

(出典: NEDO海外レポート No.1001, 2007.6, および
Nat'l Science Foundation FY2009 Request to Congress)

◇**米国の光触媒特許出願数が、水素等燃料生産関係で日本を上回る、**
日本は環境浄化が主 (出典: NIMS連続セミナー2009.1.)



**光合成を、貯蔵可能なエネルギー獲得のための
長期戦略テーマと捉え基礎研究を推進中**

米国の太陽エネルギー活用基礎研究開発プロジェクト

Basic Research Needs for Solar Energy Utilization



HELIOS

化学エネルギー
(水素、アルコール、炭化水素)

Methanol
Ethanol
Hydrogen
Hydrocarbons
Electrons

電気エネルギー

Helios Concept

5億円／年で10年間
(基礎研究のみ)
さらにU.of California
敷地内に200億円の研究拠点を
建設・隣接させる(2013完成予定)

太陽光

Plants

Photosynthetic
microbes & algae

Artificial
Photosynthesis

Photovoltaics

出展: Helios Project HP

太陽光利用技術と大規模シミュレーション

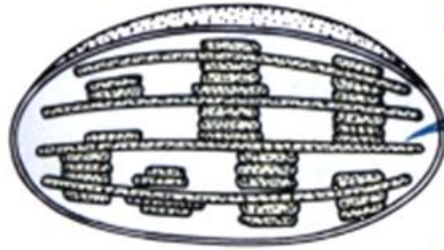
方式	量子効率 (可視最適波長)	課題	大規模シミュレーション のニーズ
太陽電池	~90%	エネルギーの貯蔵が 高コスト(蓄電か電解)	ニーズは高くない (開発フェーズ)
光触媒 (人工光合成)	~3% (光誘起のみの 2ステップ法)	高効率化	材料探索に多くの中規模 シミュレーションが必要
光合成	約98%	機構解明と、新デバイスの 開拓(高効率、安価)	機構解明に大規模な シミュレーションが必須

出典: 第7回ナノテク総合シンポジウム Proceedings 2009.2 など



光合成の機構解明が、ペタマシーンで初めて可能、
エネルギー問題解決への大きな貢献が期待できる

光合成における明反応



ストロマ

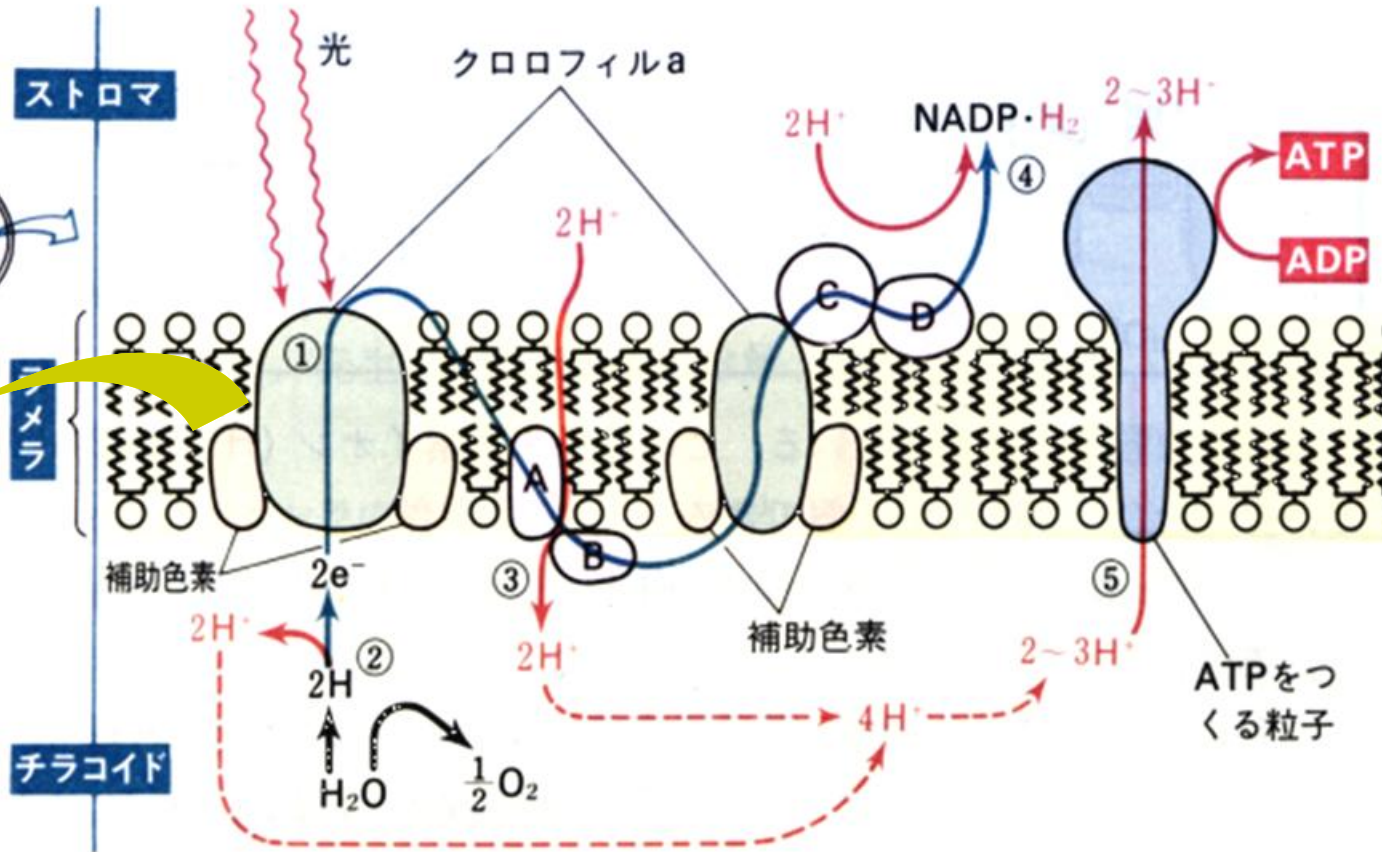
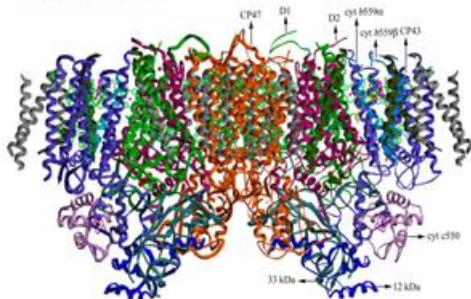
光

クロロフィルa

カメラ

チラコイド

光化学系Ⅱ (PSⅡ)の結晶構造



高効率電荷分離デバイス実現のための3原理

1) 電子・ホール再結合の防止

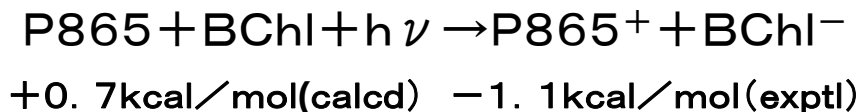
周辺蛋白質によるビルトインポテンシャル？

→ 電子の流れを1方向に誘導

2) 電荷分離過程でのエネルギー損失の最少化

$$h\nu = E(D^+ + A^-) - E(D + A)$$

Chlは、ドナー、アクセプターとして機能

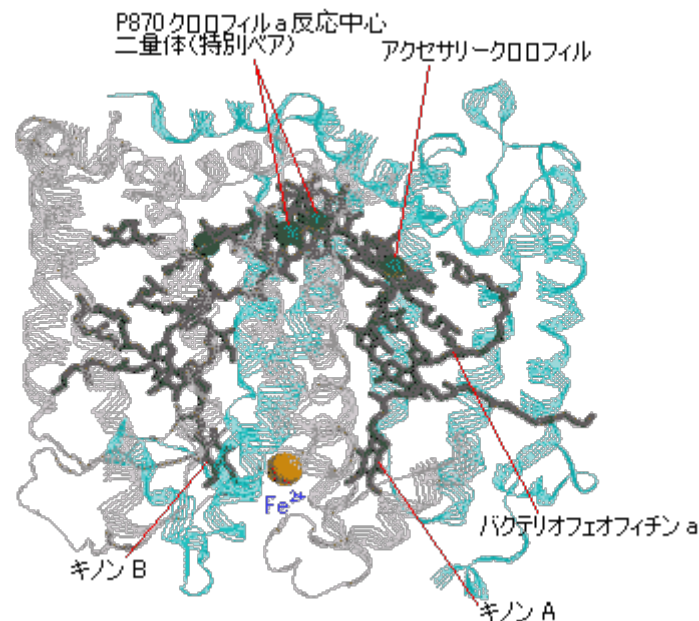


参照: R. A. Margareta, et. al. J. Am. Chem. Soc. 1998, 120, 8812-8824

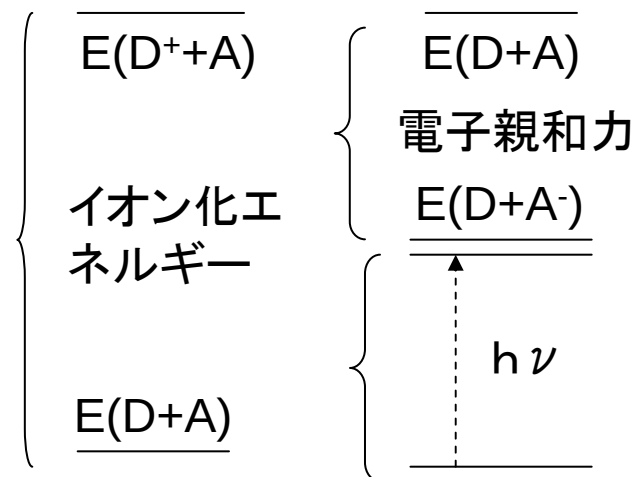
3) 高い光吸収率の実現

$\langle \phi(\text{HOMO}) | \mu | \phi(\text{LUMO}) \rangle$ を最大化

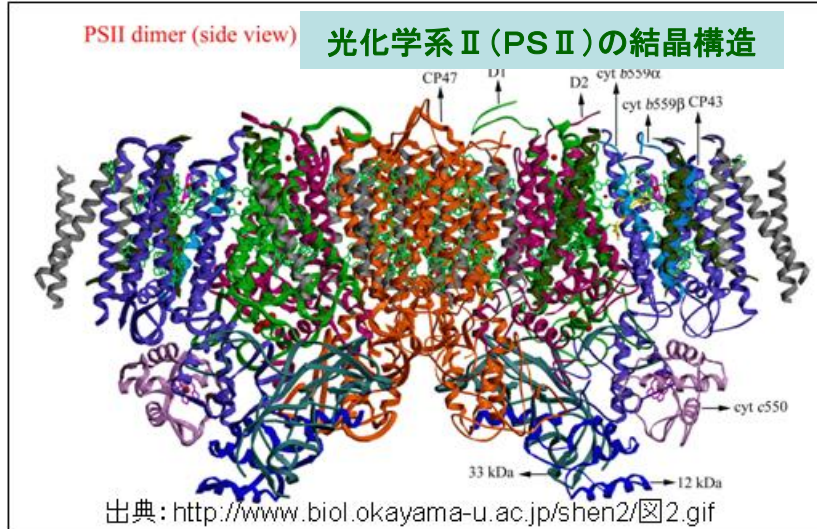
➡ これらの実現手段を、光合成に学ぶ！



出典: <http://133.100.212.50/~bc1/Biochem/photosyn.htm#bacteria>



植物光合成系の電荷分離とエネルギー変換効率



PSⅠ・Ⅱと暗反応のステップ数: 40*)

総合量子収率: ~1

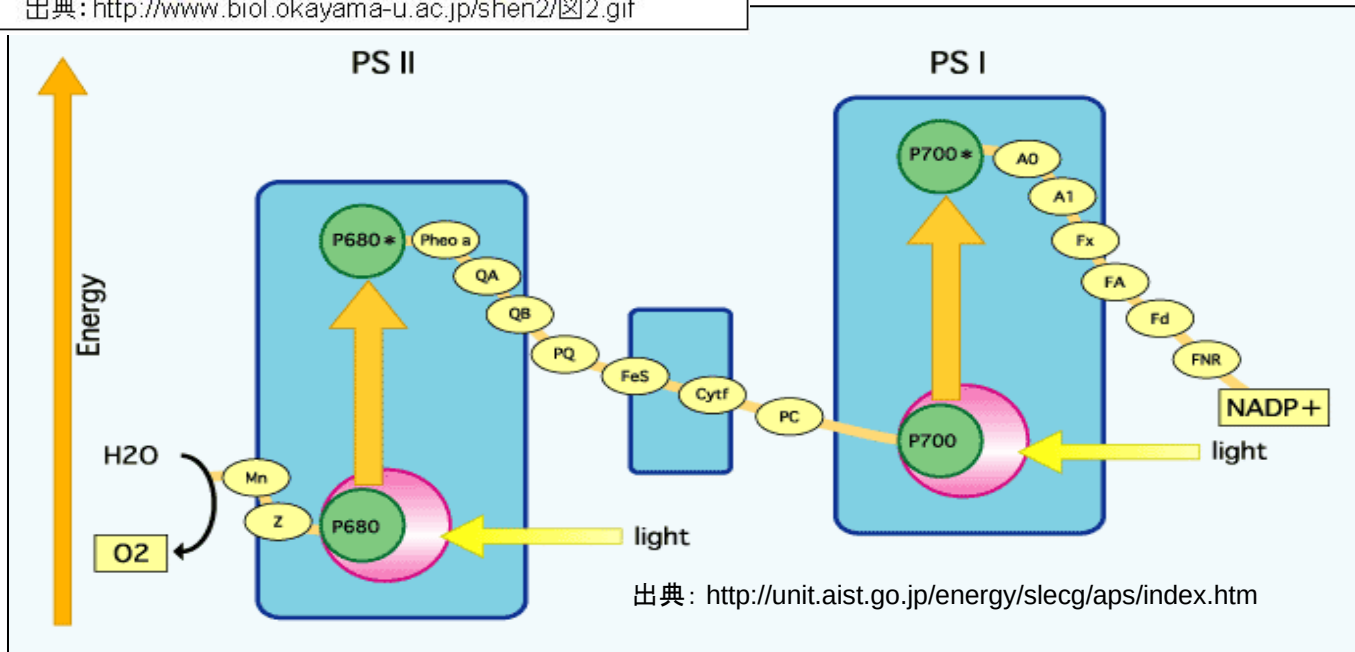
取得エネルギー: 35%

総合量子収率を0.80としても

量子収率／ステップ: 0.994

エネルギーロス／ステップ: 2~3%

*) 渡辺正、化学と工業、62-1、2009、16-18



利用可能
太陽エネ
ルギー