

### 3. ミトコンドリアと葉緑体

#### 3-1. ミトコンドリアと葉緑体の構造

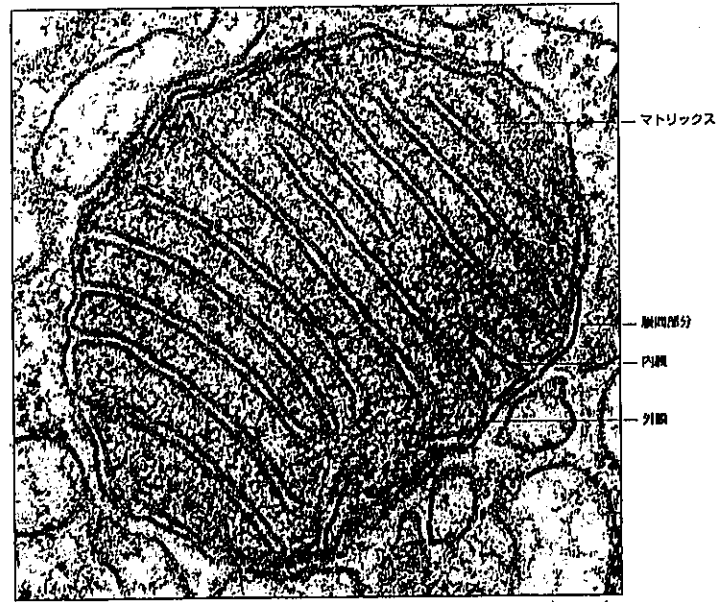
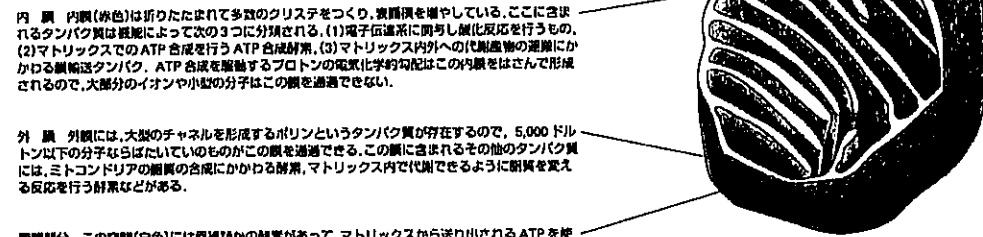


図 14-3 ミトコンドリアは4つの区画に分かれている。ミトコンドリアには2枚の膜と2つの内部空間という4つの区画があり、それぞれの機能に対応した異なるタンパク質群を含んでいる。肝細胞では、ミトコンドリアに含まれるタンパク質のほぼ67%がマトリックスに、21%が内膜に、8%が外膜に、4%が膜内部分に存在する。(写真提供: Daniel S. Friend)

**マトリックス** この大きな空間には数百種類の酵素が溶解されており、ピルビン酸や脂肪酸の酸化やクエン酸回路にかかわる酵素などが含まれている。マトリックス内には、ミトコンドリアDNA、rRNA、tRNA、ミトコンドリア遺伝子の発現に必要な酵素群も含まれている。

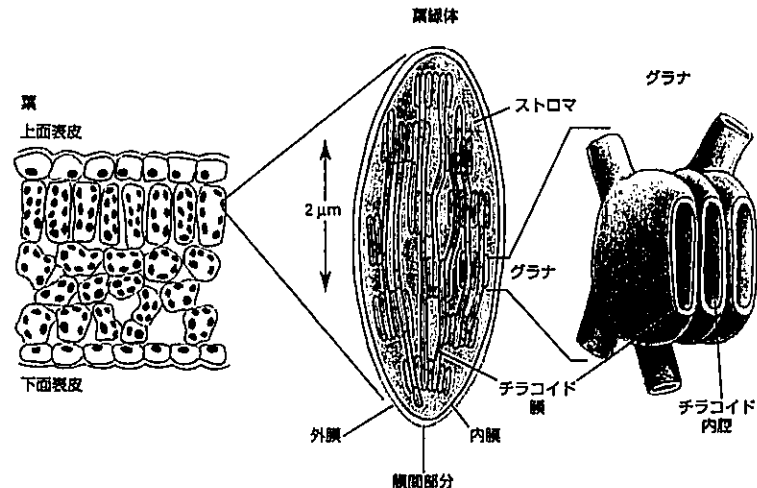


**内膜** 内膜(赤色)は折りたたまれて多数のクリステをつくり、表面積を増やしている。ここに含まれるタンパク質は種類によって次の3つに分類される。(1)電子伝達系に関与し酸化反応を行うもの。(2)マトリックスでのATP合成を行うATP合成酵素。(3)マトリックス内外への代謝産物の運搬にかかわる膜輸送タンパク。ATP合成を駆動するプロトンの電気化学的勾配はこの内膜を越えて形成されるので、大部分のイオンや小分子はこの膜を通過できない。

**外膜** 外膜には、大型のチャンネルを形成するポリンというタンパク質が存在するので、5,000ドルトン以下の分子ならばたいいぬものがこの膜を通過できる。この膜に含まれる他のタンパク質には、ミトコンドリアの網膜の合成にかかわる酵素、マトリックス内で代謝できるように酵素を変換する反応を行う酵素などがある。

**膜間部分** この空間(白色)には有酸素呼吸の酵素があり、マトリックスから送り出されるATPを使ってほかのヌクレオチドをリン酸化する。

図 14-30 葉緑体には第3番目の区画がある。この光合成を行う器官には、3種類の膜(外膜、内膜、チラコイド膜)があり、内部空間を膜間部分、ストロマ、チラコイド内腔に分けている。チラコイド膜には、クロロフィルを含めて葉緑体のエネルギー生産系のすべてが含まれている。電子顕微鏡写真からは、チラコイド膜は分かれて個々の平たい小胞を包んでいるように見えるが(図 14-29C)、実際にはこれらはつながっていて、葉緑体中に複雑に折りたたまれた1枚の膜構造をなしているらしい。この図に示すように、チラコイドは相互につながっていて、層状に重なり合ってグラナを形成することが多い。



#### 3-2. ミトコンドリアと葉緑体の機能

##### 細胞のエネルギー転換系

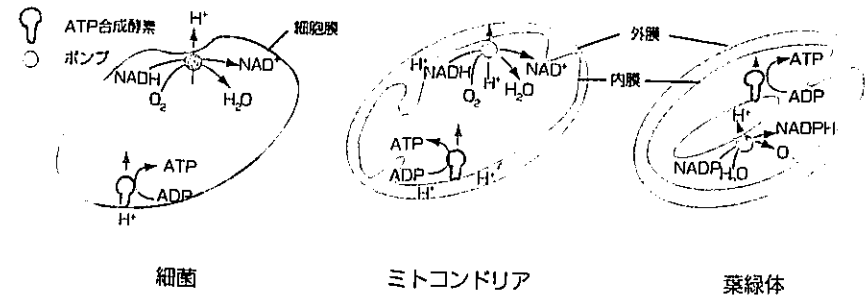


図 3-2: エネルギー転換系の共通性

##### ミトコンドリアのエネルギー産生系

図 14-4 NADHは電子を電子伝達系に渡す。図では高エネルギー電子を黄色の水素原子の2個の赤い点で表している。NADHから取り出された水素原子イオン(H<sup>+</sup>)、余剰な電子1個をもつ水素原子は、プロトンと2個の高エネルギー電子に変換される。つまりH<sup>+</sup> → H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup>。ここでは、高エネルギーの電子を輸送している(NADHの)還元部分だけを示してある。完全

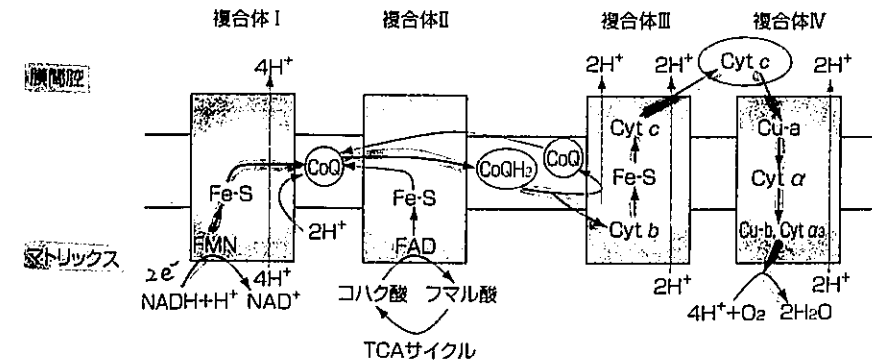
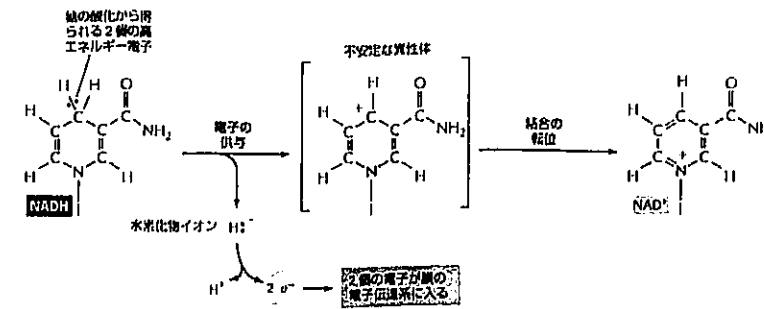


図 3-5: ミトコンドリアの電子伝達系

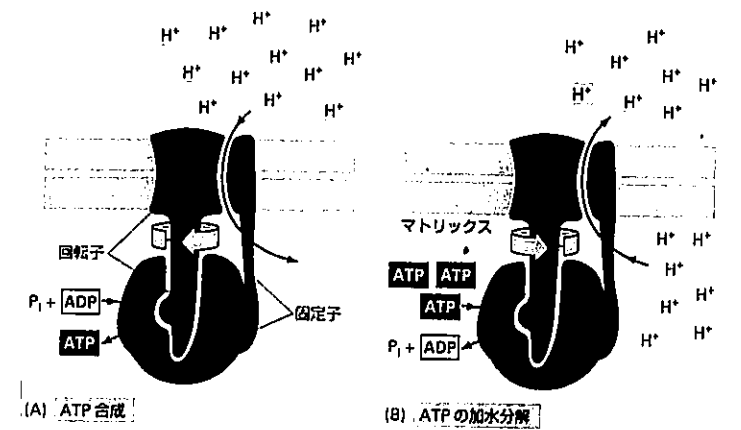


図 14-15 ATP合成酵素は、電気化学的プロトン勾配のエネルギーを化学結合のエネルギーに変え、またその逆を行う可逆的共役装置である。ATP合成酵素はH<sup>+</sup>勾配を利用してATPを合成する(A)。またその逆に、ATPを加水分解してプロトンを電気化学的勾配に逆らって移動させる(B)。ある時点で反応がどちらの方向に進むかは、H<sup>+</sup>の移動と、ADPとP<sub>i</sub>からのATPの合成という共役している反応全体の正味の自由エネルギー変化(第3章で論じたΔG)によって決まる。したがって、電気化学的勾配がある限り低下すると、H<sup>+</sup>のマトリックス空間内に移るΔGがATPの合成には不十分になる。そうなる時、この酵素は勾配を再形成する方向に向けてATPの加水分解を始める。

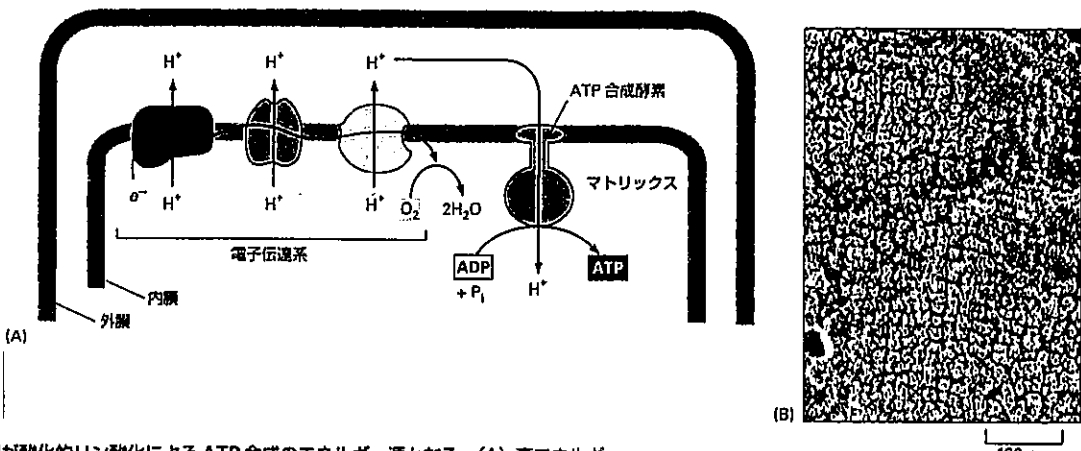
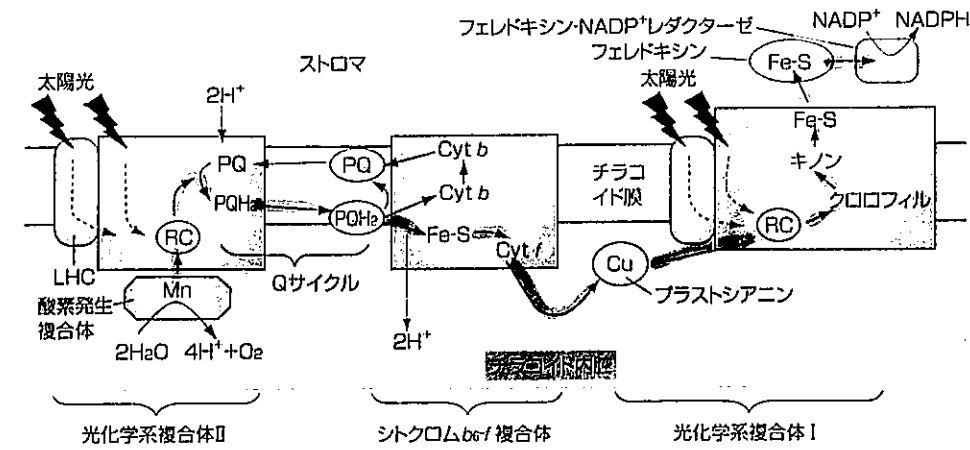
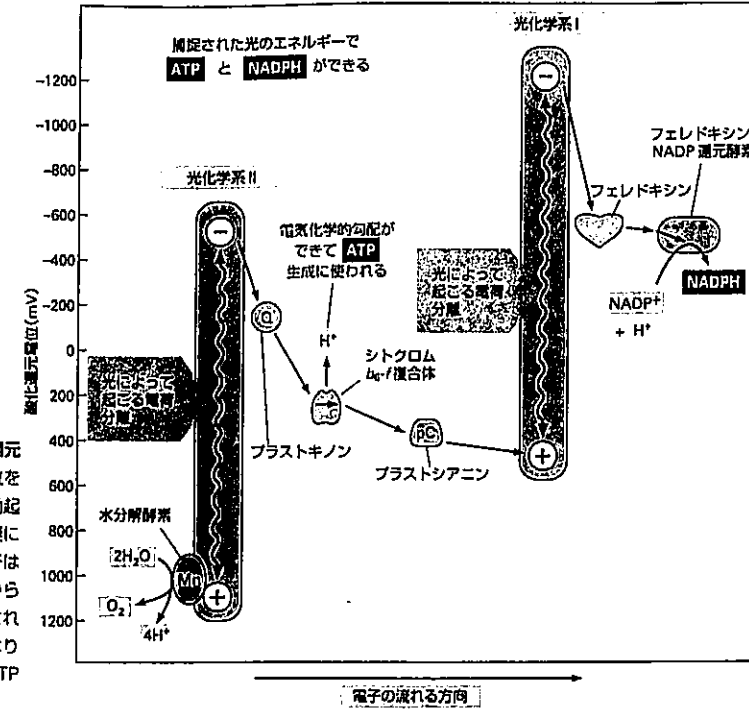
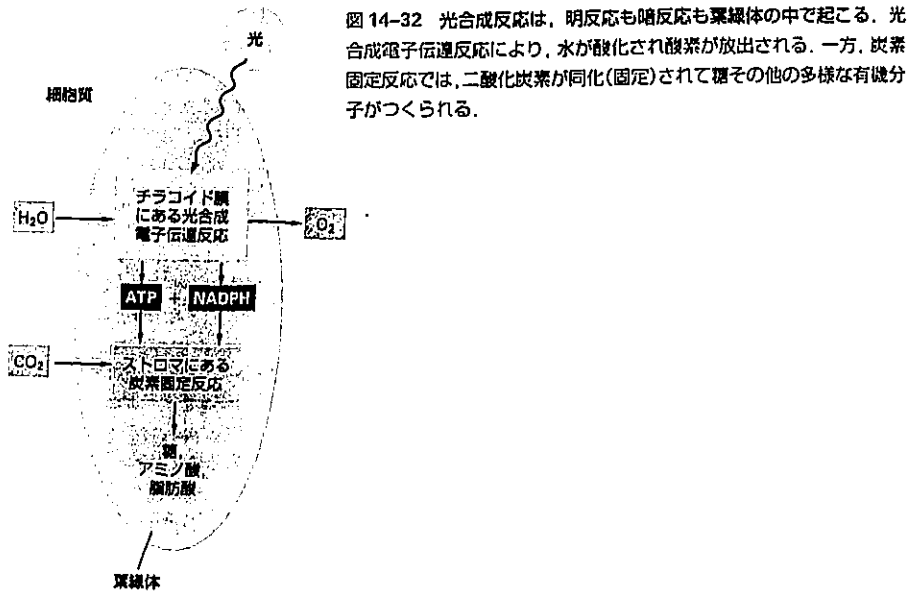


図 14-13 ミトコンドリア内膜を介する電気化学的勾配が酸化リン酸化によるATP合成のエネルギー源となる。(A) 高エネルギー電子が電子伝達系を流れる際に放出されるエネルギーの一部は、3種類の呼吸酵素複合体がH<sup>+</sup>をマトリックス空間からくみ出すのに使われる。その結果、ミトコンドリア内膜の内外に電気化学的プロトン勾配がつくれ、この勾配によってH<sup>+</sup>はATP合成酵素を通過してマトリックスに戻っていく。ATP合成酵素は膜貫通タンパク複合体で、H<sup>+</sup>の流れる際のエネルギーを使ってマトリックスでADPとP<sub>i</sub>からATPを合成する。(B) 植物細胞のミトコンドリア内膜のマトリックス側表面を見た電子顕微鏡写真。高密度に並んだ粒子が見えるが、これはATP合成酵素の膜から突き出た部分と呼吸酵素複合体である。

光合成の第一過程：光化学系



光合成の第二過程：カルビン回路

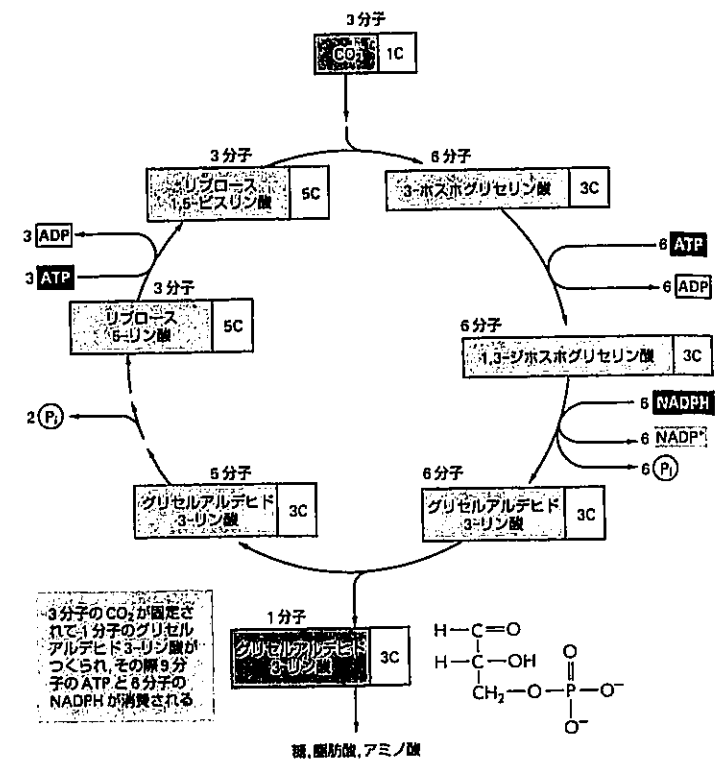


図 14-39 炭素固定回路ではCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oから有機分子が生成される。個々の分子に含まれる炭素原子の数を白地の枠内に示す。グリセルアルデヒド3-リン酸とリブローズ5-リン酸の間には多数の中間体が介在するが、この図では省いてある。水が回路に入ることも示していない。