

RED Carを走らせよう

代表者 武市匡平（理工M1年）
構成員 西村恵美（理工D3年）岡川直紀（工学B4年）神本紗代（理工M2年）
小川佳昭（理工M1年）湯谷和寛（工学B4年）

1. 背景と目的

現在の発電技術として原子力発電、火力発電、水力発電、太陽光・風力発電などがある。これらの発電は様々な問題点がある。例えば、原子力発電では放射性廃棄物の処理方法、事故による被害がある。火力発電では燃料の枯渇、二酸化炭素の排出がある。水力発電ではダム建設による自然との共生が欠点である。現状としてこれらの発電により生じる環境問題を解決するために太陽光・風力発電などの発電方法が広く知られている。しかし、太陽光・風力発電では不安定な電力配給、設置の高コスト、設置場所の少なさが問題点として挙げられる。そこで、環境にやさしい新規自然エネルギーのひとつとして海水と河川水の濃度差を利用して発電する濃度差発電がある。現在、濃度差発電のひとつである逆電気透析(Reverse Electro Dialysis: RED)発電が新規自然エネルギーとして注目を集めている。RED発電のメリットとしては4つ挙げられる：①天候や時間に影響を受けないため安定的な発電が可能、②設備がコンパクトで設置が容易、③海水と淡水による発電のため仕組みがシンプルで維持・管理が容易、④燃料が海水と淡水のため低環境負荷。このような利点から RED 発電は将来の代替エネルギーとしてとても有望である。また、日本という四方を海で囲まれた国ではこの発電方法は非常に有効である。逆電気透析における発電については多くの研究が行われているが、未だ普及するまでには至っていない。そこで、私達は新規自然エネルギーであるこの発電方法をみんなに知ってもらおうと考えた。以上が本プロジェクトの着想に至った経緯である。本プロジェクトでは環境に優しいエネルギー変換システムである RED 装置の作製を行う。そして、そのエネルギーを利用し、RED Car を走らせる。具体的な実施内容は以下の通りである。

- ・ RED Car を作製する。
- ・ 5km/h で3分間の走行を目標とし、人を乗せて RED Car を走らせる。
- ・ RED Car 完成後、メディアを通しての走行発表を行う。
- ・ 上記より、RED 発電の知名度を上げる。

2. 逆電気透析(Reverse Electro Dialysis: RED)装置

逆電気透析は、名前のおり製塩時の電気透析と逆方向のプロセスを経て電気エネルギーを得るメカニズムとなっている。逆電気透析の発電機構は、電極間に陽イオン交換膜と陰イオン交換膜を交互に設置し、その膜間に海水と淡水を流通させる。このときナトリウムイオンは陽イオン交換膜を介して、塩化物イオンは陰イオン交換膜を介して高濃度側溶液から低濃度側溶液へと拡散する。その結果、電荷の偏りが生じ、膜間に電位差が生じる。ここで、逆電気透析の構造を図1に示す。

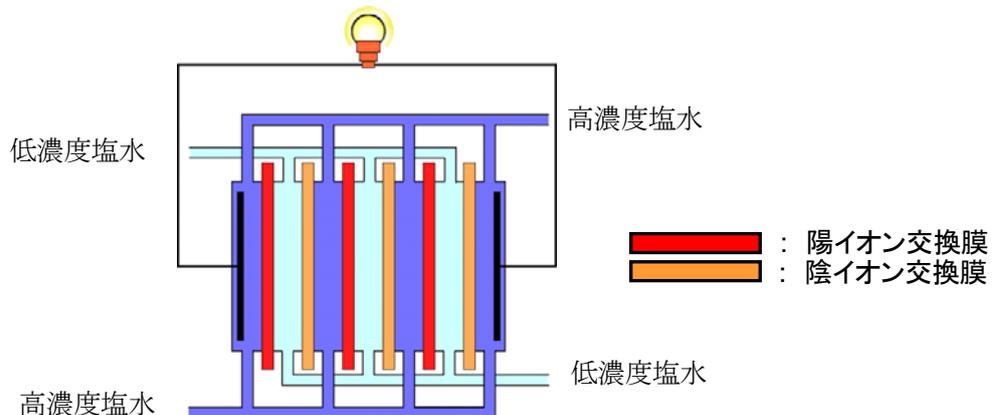
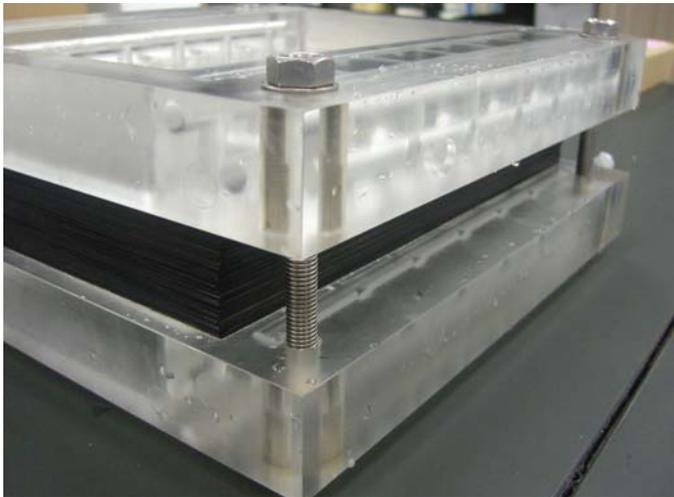


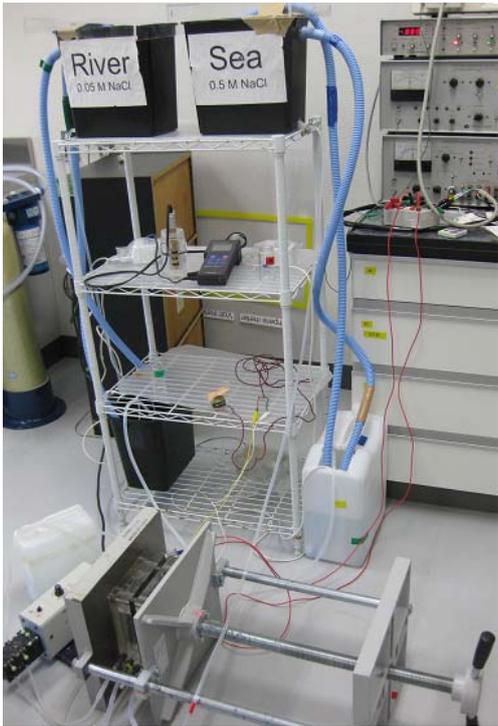
図1 逆電気透析図

RED Car 作製に伴うスタックを作製し、図2に示しているように陽イオン交換膜と陰イオン交換膜の間に河川用と海水用のゴムガスケット、膜、ネットの加工をした。また、作成する車の必要出力(30W)を算出した。そして、その対数の増設をし、それに伴って膜などの加工を行った。上記で説明したように RED は陽イオン交換膜と陰イオン交換膜の対が多くなるほど電池の直列つなぎのようになり、より高い出力を得ることができる。例えば5対から10対の2倍に増やすと、出力も約30mWから約60mWと2倍得ることができる。これは確認済みである。このように対の増加と出力の増加が比例的であることから今後100対、200対と対の増設を行うことでRED Carの動力源として使用することができる。また、今回の対の増設で大変だったのは、膜と膜の間を流れる溶液の漏れをいかにして無くすかということであった。溶液の漏れは、溶液の流れや低濃度溶液と高濃度溶液の濃度比に影響を与え、出力低下の原因となる。対策としてゴムガスケットとネットの一体型を考え、現在30Wを目標に実践中である。

また、このデモンストレーションとして小さなモーターを回転させたり、豆電球を光らせたりとして目に見える形で発電を確認できた。そして、オープンキャンパスでREDをより認知してもらうためにデモンストレーションを行った。これは大変好評で40人以上の高校生や父兄の方に説明することができた。これは本プロジェクトの目的であるRED発電の知名度を上げるための大きな第一歩といえる。



(a) 逆電気透析スタック

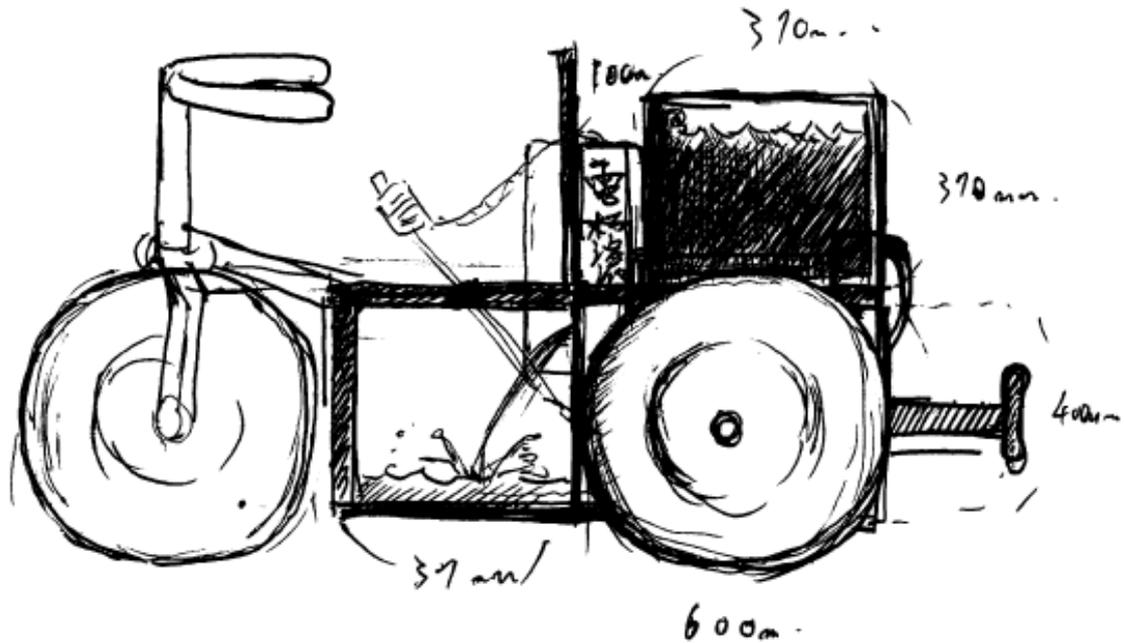


(b) 逆電気透析構造

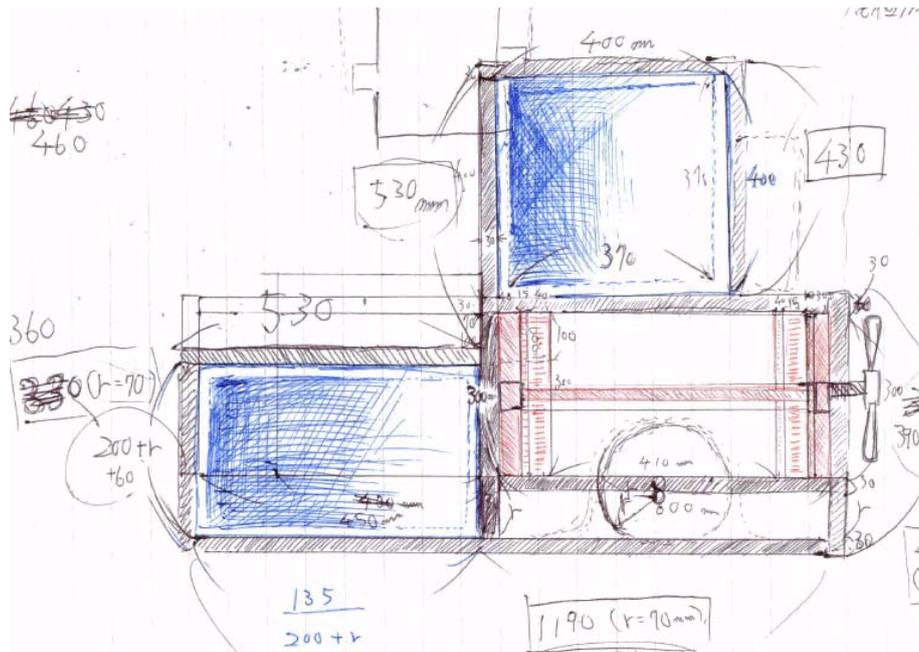
図2 実際の逆電気透析装置

3. 車作製

まず、初めに RED Car 作製に必要な出力の検討を行った。その結果、30W 以上の出力が必要であることが判明した。理論上のそのために現在の RED スタックの大きさでは 300 対必要であることが予想できる。それに従って、RED Car の構造について検討をした。また、RED の循環部分の作製を行い、車作製の検討のために、詳しい知識を持っている人に話を聞きに行った。現段階で完成しているソーラーカーを直に見ることでその仕組みや骨組などたくさんの知識をすることができた。そして、それを元に構造の全体像を作成した。詳細は図3に示す。これを元に部品を発注していき、RED Car を作製していきたいと考えている。これは以前考えていた4輪ではなく、3輪に変更をし、駆動源のモーターは備え付けのもとタイヤに直接埋め込まれているもの両サイドで現在検討中である。



(a) RED Car 完成図



(b) RED Car 上部循環部詳細

図3 RED Car 構造図

○タイヤの検討

[目的]

タイヤの幅が 10cm 以下、外径 60cm 以上のタイヤを検討する。

- *タイヤ幅は小さいほうが抵抗は少ない。
- *負荷できる荷重はタイヤ一つにつき 230kg であるので、全体の重量を 200kg で考える RED Car では問題はない。
- *形状は凹凸の少ないものを考慮する。

候補① IRC GS-19 フロントタイヤ 100/90-19 チューブタイプ

- ・タイヤの幅 : 10cm
- ・タイヤの外径 : 66.26cm

候補② VS750 イントルルダー フロントタイヤ 100/90 - 19 57S

- ・タイヤの幅 : 10.0 cm
- ・タイヤの外径 : 66.4cm



候補①



候補②

[まとめ]

RED Car に使用するタイヤを検討し、上に挙げた①と②のタイヤはタイヤ幅、外径ともに条件を満たしている。タイヤ表面の状態は①②とも異なるが RED Car 装着時に性能に大きな違いは出ないと考えられる。値段は、タイヤ一つにつき約 7,000 円で同じであるが①はチューブタイプのため、チューブを更に購入する必要がある。チューブタイプはスポークを使用するときに必要なもので、荷重負荷のあるタイヤの耐久性を増加させる。よって、耐久性を求めるのであれば①、その他のホイールを使用するのであれば②を購入するのが良い。

○RED Car 用モーターの検討

[目的]

RED Car に使用するための定格出力が 30W の DC モーターを検討した。

候補① サーボモータ TAMAGAWA TS3253

巻線仕様	E5	巻線仕様	E5
トルク定数	$5.3 \times 10^{-2} \text{N} \cdot \text{m/A}$ (0.545kgf · cm/A)	瞬時最大トルク	$0.53 \text{N} \cdot \text{m}$ (5.4kgf · cm)
誘起電圧定数	$5.6 \times 10^{-3} \text{V}/(\text{min}^{-1})$	最大回転速度	75s^{-1} (4500min ⁻¹)
電機子抵抗	2.7	ロータイナーシャ	$0.049 \times 10^{-4} \text{kg} \cdot \text{m}^2$ (0.05gf · cm · s ²)
電機子インダクタンス	1.4mH	機械的時定数	4.6m sec
瞬時最大電流	10A	電氣的時定数	0.52m sec
(定格点) 電圧	25V	熱抵抗	3.5°C/Watt
(定格点) 電流	2.1A	最大電機子温度	130°C
(定格点) 回転数	50s^{-1} (3,000min ⁻¹)	熱時定数	-
(定格点) トルク	$9.8 \times 10^{-2} \text{N} \cdot \text{m}$ (1.0kgf · cm)	軸摩擦トルク	$7.8 \times 10^{-3} \text{N} \cdot \text{m}$ (0.08kgf · cm)
(定格点) 出力	30W	質量	0.36kg

特長

- ・高性能希土類マグネットを採用し、超小型、軽量化を実現。
- ・出力 30～200W までの幅広いシリーズ。
- ・アルミダイカスト一体化により放熱改善 (200W タイプのみ)
- ・多スロット設計によるなめらかな回転と低速域への拡張。
- ・耐ノイズレベルの向上と他に類をみない、モータ短縮化を実現。
- ・TG. エンコーダ、保持用ブレーキ等各種オプションの組合せ可能。

候補② Motertronics

形 式 TS3092 (モータのみ)

(定格点) 出 力 **Rated Output (PR) 29W**

(定格点) ト ル ク **Rated Torque (TR) 0.19N·m (1.9kgf·cm)**

(定格点) 回 転 数 **Rated Speed (NR) 1,500min⁻¹**

最 大 回 転 数 **Max. Speed (NMax.) 2,500min⁻¹**

定 格 点 電 圧 **Rated Voltage (ER) 24V**

定 格 点 電 流 **Rated Current (IR) 2.1A**

無 負 荷 電 流 **No Load Current (IO) 0.3A Max.**

電機子イナーシャ **Armature Moment of Inertia (IR) 0.59×10⁻⁴kg·m² (0.6gf·cm·sec²)**

ト ル ク 定 数 **Torque Constant (KT) 0.12N·m (1.21kgf·cm) /A**

誘起電圧定数 **Voltage Constant (KE) 12.5×10⁻³V (/min⁻¹) ±10%**

電機子抵抗 (端子間) **Armature Resistance (Ra) 3.4±15%**

電機子インダクタンス **Armature Inductance (La) 4.1mH±15%**

機械的時定数 **Mechanical Time Constant (m) 14.1m sec**

電氣的時定数 **Electrical Time Constant (e) 1.2m sec**

熱 抵 抗 **Thermal Resistance (Rth) 4°C/W**

最大電機子温度 **Allowable Max. Armature Temp. 130°C**

軸摩擦トルク **Friction Torque (Fr) 2.9×10⁻²N·m (0.3kgf·cm) Max.**

瞬時最大電流 **Instantaneous Peak Current (Ip) 7.3A**

瞬間最大トルク **Instantaneous Peak Torque (Tp) 0.78N·m (8kgf·cm)**

定格パワーレート **Rated Power Rate 0.5kW/sec**

絶 縁 抵 抗 **Insulation Resistance 10M □Min. at 500V DC Megger**

絶 縁 耐 力 **Dielectric Strength 60sec at 50/60Hz 500V**

軸 方 向 遊 び **Shaft End play 0.05mm Max. (1kgf Load)**

質 量 **Mass (WM) 1,100g Max.**

[まとめ]

TAMAGAWA の DC サーボモータは回転の制御機能が付いたものであり、RED Car においては 30W での進む速度は小さいので、制御の必要のない Motertronics のモータが最適と思われる。

○RED Car 用供給溶液タンク

50L[バルブ付]ポリエチレン容器



- ポリエチレン容器
- 容量…50L
- バルブサイズ… 1/2”
- 開閉バルブ付
- サイズ…620×350×360mm
- 重量…4.5kg
- 最小型ローリーで一輪車に積載できます

○上記タンクのパルプとチューブ（内径 15mm）のコンネクター
 ガス・水道用・配管部材 ボールタップ



○RED Car 用排出溶液タンク

[目的]

外寸が 600×350×300 で容量 50L のものを検討。大きさは多少異なっても RED Car のデザインを変えればよいものとする。

候補①

外寸	650×400×275mm	色相	ブルー
内寸	602×352×262mm	材質	ポリプロピレン
有効内寸	592×342×252mm	圧縮荷重	27.7KN(2830kgf)
内容量	54.1L	底面形状	SB(格)



候補②

外寸	666×335×298mm	色相	オレンジ
内寸	620×295×283mm	材質	ポリプロピレン
有効内寸	610×285×273mm	圧縮荷重	29.4KN(3000kgf)
内容量	50.4L	底面形状	SB(格)



[まとめ]

以上の 2 点より、

①（青いコンテナ）は多少高さが低いですが横に広い。

②（オレンジ）は高さがアクリル板とほぼ同じであるが、全体的に細長い。

高さは両方とも条件を満たしている。奥行きは長くても良いが横幅は細い方がいいので

②の方が RED Car 用排出溶液タンクとして適していると考えられる。

4. 総括

おもプロ申請時での計画では 5, 6 月に車専用の RED 装置の構造の設計とその装置の作製を行い、ここでは、主に RED Car 専用の RED 装置のために経費を使用する。5 月～9 月で上記の計画を元に車作製の計画を練り、車の作製を行う。RED の車重(モーター、RED 装置、人間を含む)を 200kg とし、試算したところ必要な走行パワーは 30W となった。ここでは、主に車の作製(タイヤ、モーター、車体、固定具、配線)と RED 装置との合体のために経費を使用する。そして、10～12 月に上記を合わせることで電力を動力に変換し、人を乗せて 5km/h で 3 分間 RED Car を走らせる予定であった。しかし、本プロジェクトは予想以上に進行が遅れた。これは車作製の難しさと想定外のアクシデントによるものである。また、構成員がすべて工学部 4 年以上ということもあり、予想以上に研究に時間を割かれてしまったことも一つの要因である。