



# 新規再生可能エネルギー

塩分勾配エネルギー

Salinity Gradient Power: SGP



$1\text{m}^3$

+

$1\text{m}^3$

混合

**1.7 MJ**の  
エネルギーが発生<sup>3)</sup>



3) JOOSTVEERMAN, †, ‡MICHEL SAAKES, †SYBRAND J. METZ, \*, †AND G. JANHARMSE  
N.Electrical Power from Sea and River Water by Reverse Electro dialysis: A First Step from the Laboratory to a Real Power Plant:



# 濃度差発電

低環境負荷

有害物質や放射性物質の発生がない

高稼働率

日光や風速といった自然現象の変動に依存しない

コンパクト

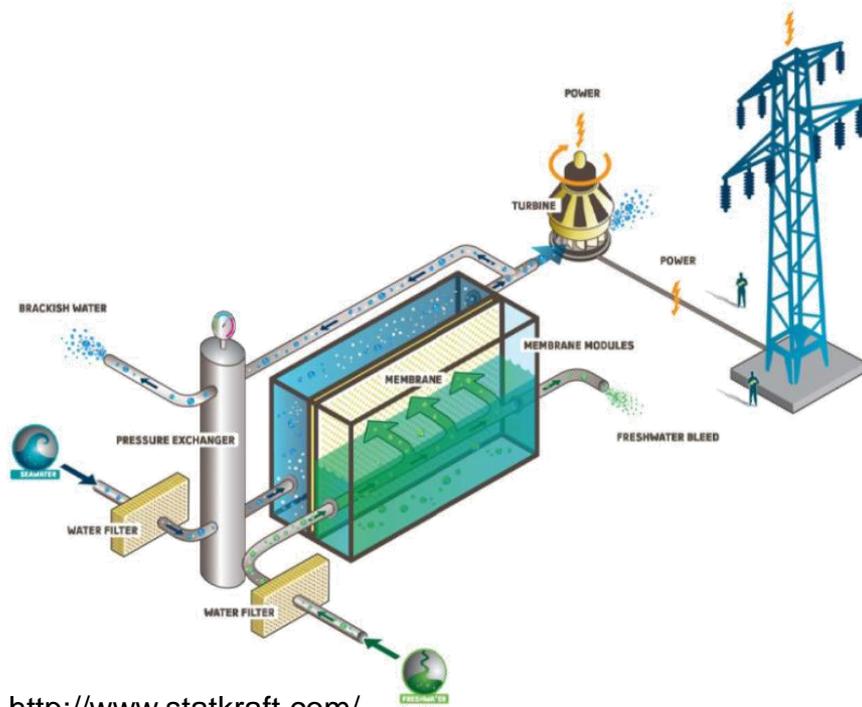
都市部への設置が容易

高安全性

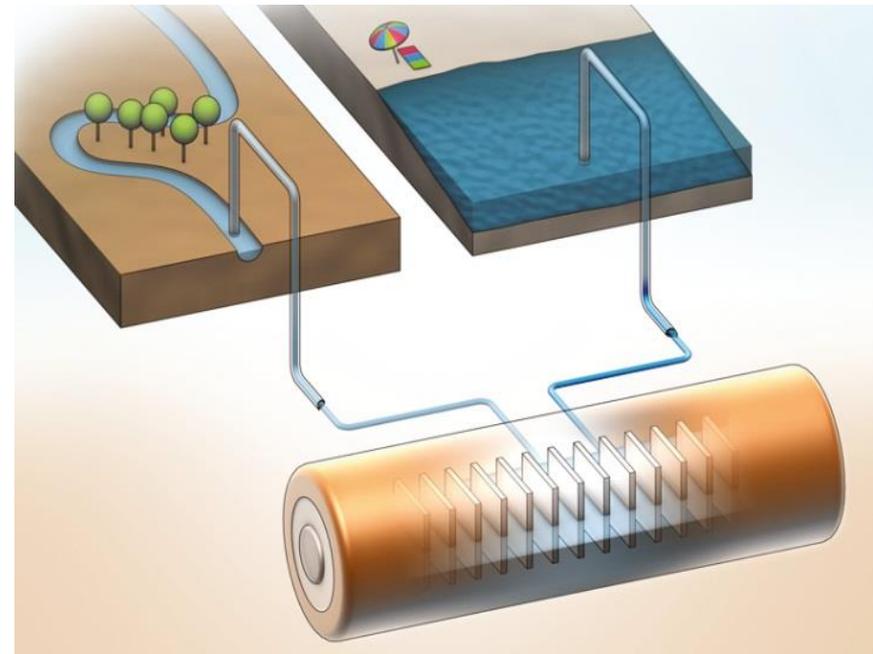
エネルギー源に海水と河川水を利用

# SGPの主な技術 (PROとRED)

## Pressure Retarded Osmosis: PRO 浸透圧発電



## Reverse Electro-Dialysis: RED 逆電気透析発電



D. Vermaas et al. Environ. Sci. Technol., 45, 7089-7095 (2011)

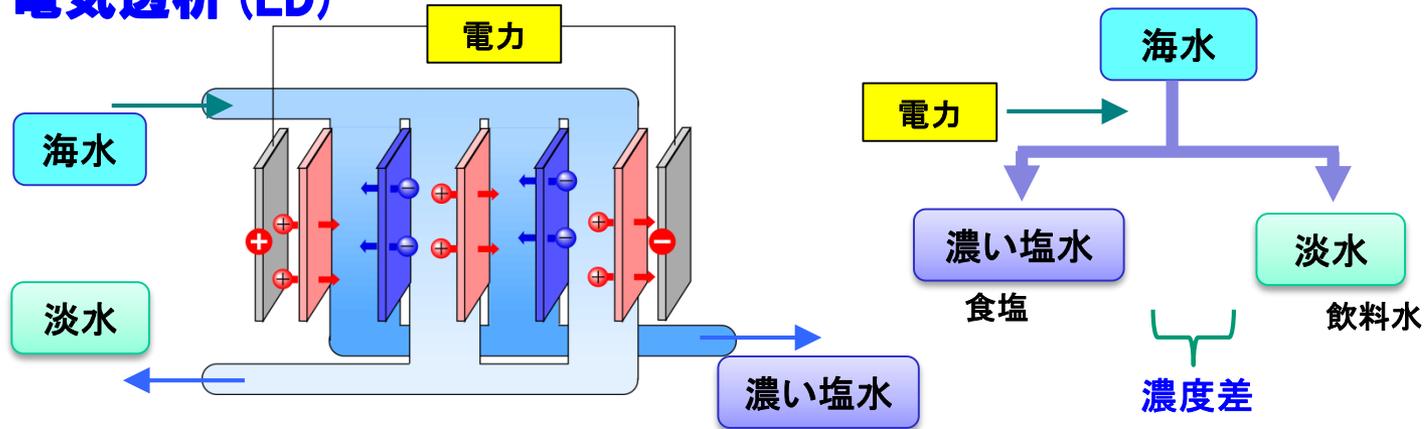
現状において海水濃度ではREDの優位性が高い

J.W. Post et al., Journal of Membrane Science 288(2009)218-230

# 電気透析(ED)と逆電気透析発電(RED)

REDは確立されたEDの逆プロセスで、濃度差を直接電力に変換

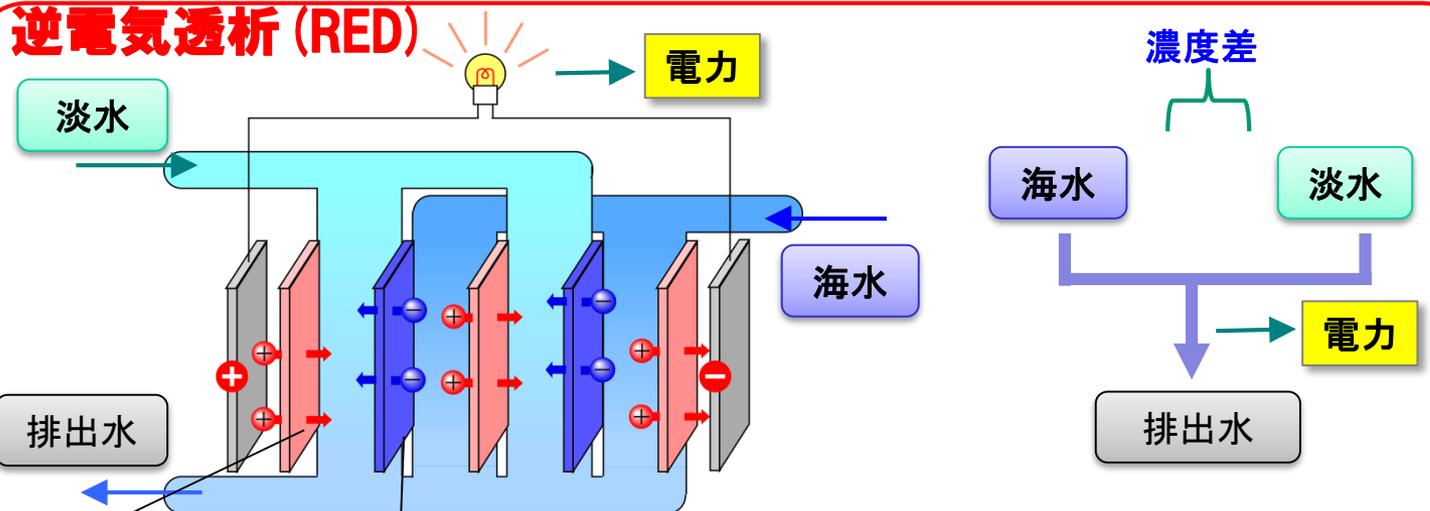
## 電気透析(ED)



技術的に確立:  
製塩・淡水化に  
実用化済

逆プロセス

## 逆電気透析(RED)

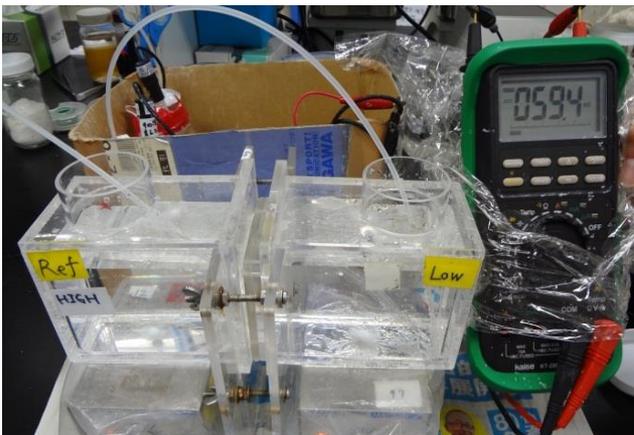


濃度差エネルギー  
をイオン交換膜に  
より直接電力に変  
換する技術

■ : 陽イオン交換膜   ■ : 陰イオン交換膜   ⊕ → : 陽イオン(Na<sup>+</sup>)   ← ⊖ : 陰イオン(Cl<sup>-</sup>)

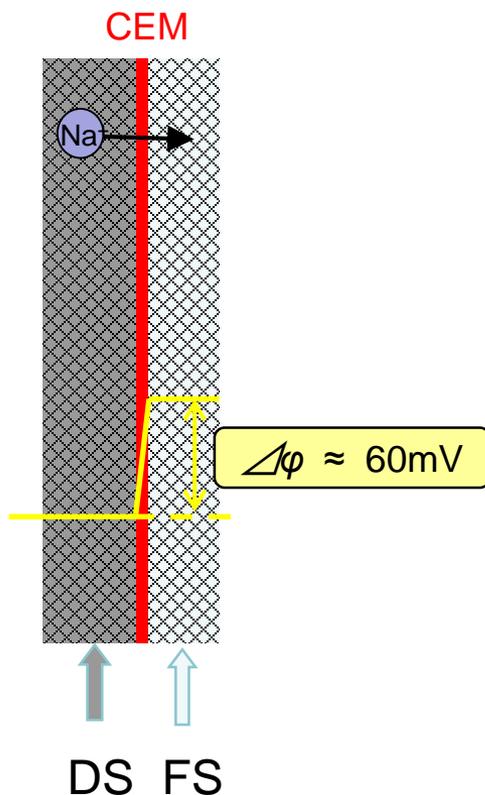


# イオン交換膜で発生する膜電位



$$r = 10$$
$$t_+ \approx 1$$
$$V_m \approx 60 \text{ mV}$$

陽イオン交換膜と2つの塩溶液(濃度比:  $r$ )  
の拡散透析系で発生する電位



$$V_m = t_+ \frac{RT}{F} \ln r$$

$t_+$ : 輸率(CEM)

$r$ : 濃度比

$$r = \frac{C_{DS}}{C_{FS}}$$

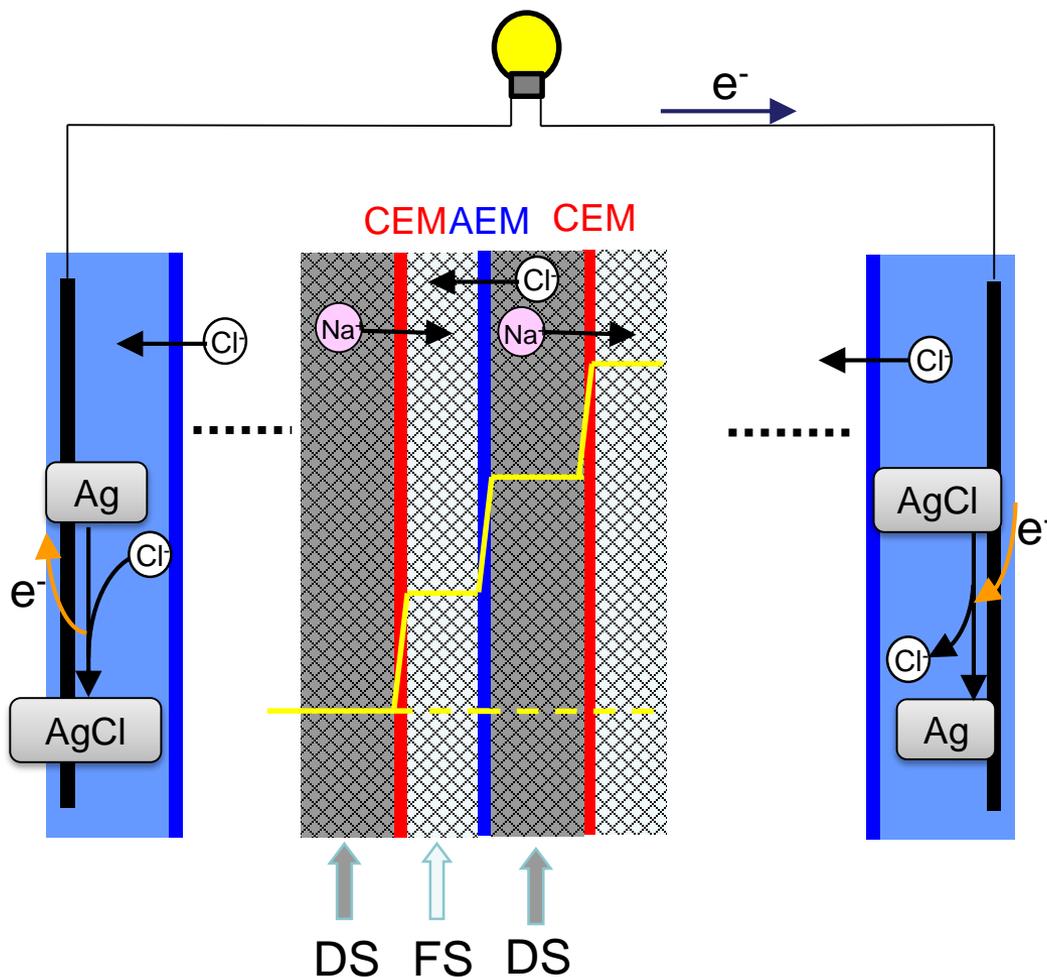
DS: 高濃度溶液

FS: 低濃度溶液



# REDの開回路電圧 ( $V_{OC}$ )

RED スタック：電極の間に  $N$  対の CEM と AEM



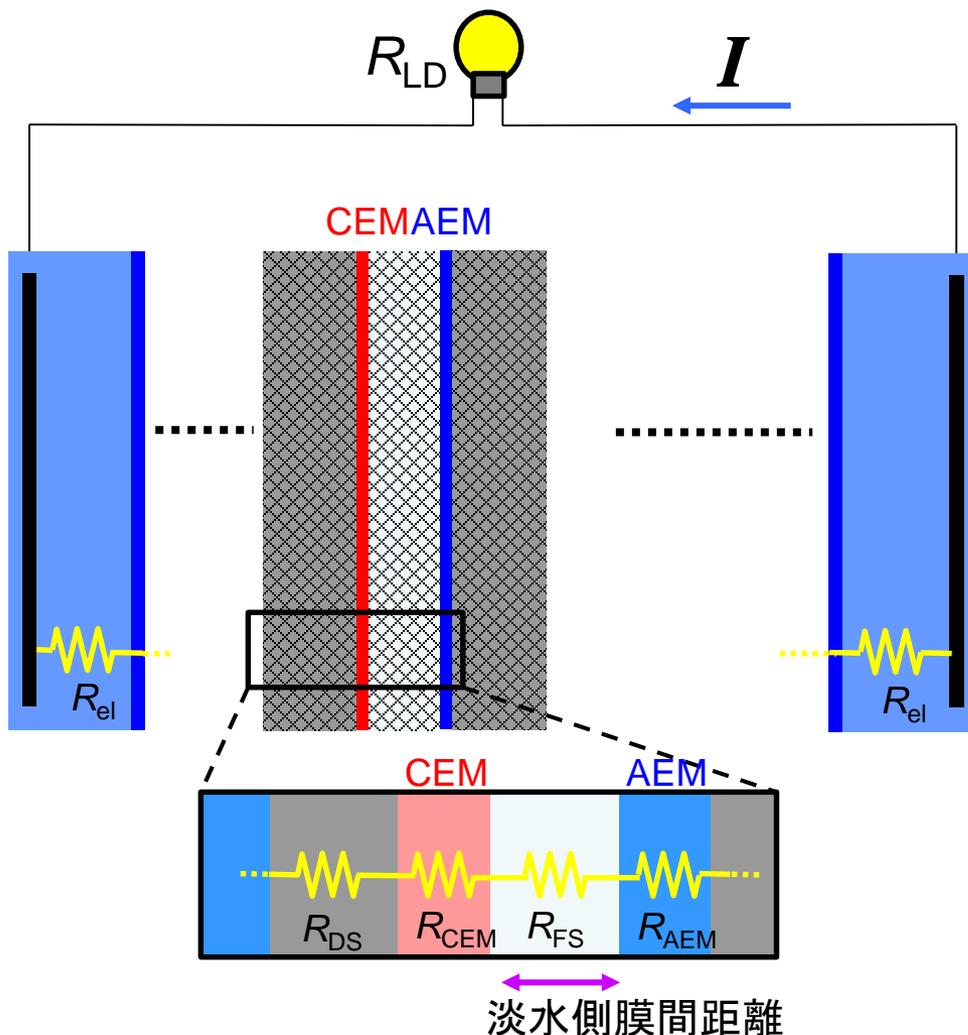
開回路電圧,  $V_{OC}$ :

$$V_{OC} = N(t_+ + t_-) \frac{RT}{F} \ln r$$

3000 対  $\rightarrow V_{OC} \approx 360V$

電極：  
イオンの流れを電流  
に変換

# REDスタックの出力密度



スタックの全抵抗,  $R_{stack}$ :

$$R_{stack} = R_{el} + NS(R_{DS} + R_{FS} + R_{CEM} + R_{AEM})$$

スタックの出力,  $W_{stack}$ :

$$W_{stack} = I^2 \cdot R = \left( \frac{V_{OC}}{R_{stack} + R_{LD}} \right)^2 R_{LD}$$

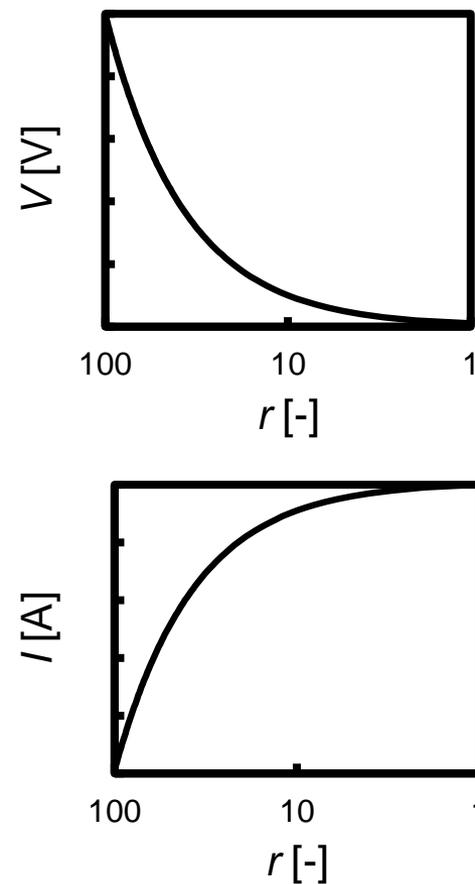
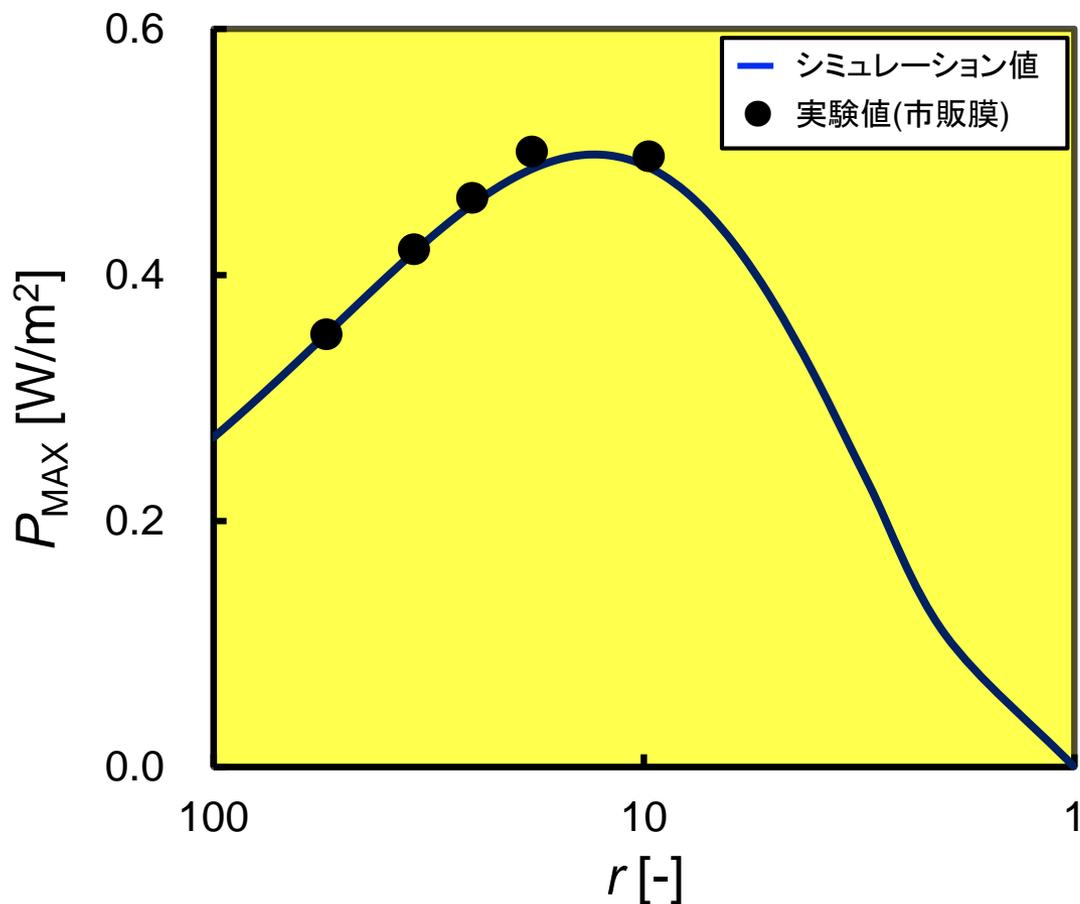
ここで  $R_{stack} = R_{LD}$  において  
 $W_{stack}$  は最大値:  $W_{MAX}$  を示す

$$W_{MAX} = \frac{(V_{OC})^2}{4 R_{stack}}$$

出力密度  $PD_{MAX}$ :

$$PD_{MAX} = \frac{W_{MAX}}{2NS} = \frac{N \left( \frac{(t_+ + t_-) RT}{F} \ln r \right)^2}{8 R_{stack} S}$$

# 濃度比と出力密度との関係



膜面積88 cm<sup>2</sup>, 対数10対, 塩水濃度0.5 M, 膜間距離1.0 mm

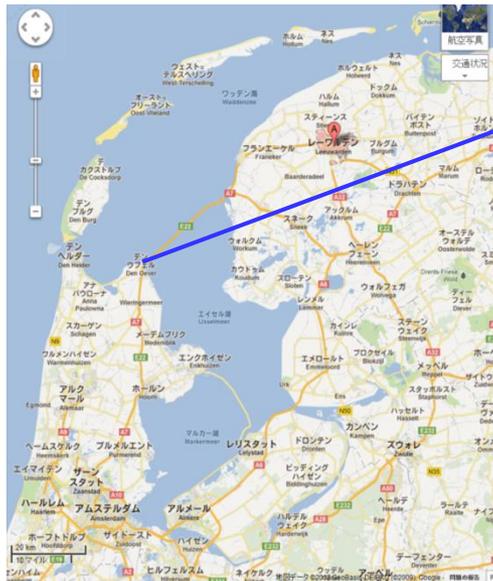
出力密度は $r \approx 20$ で最大値

# REDの開発動向

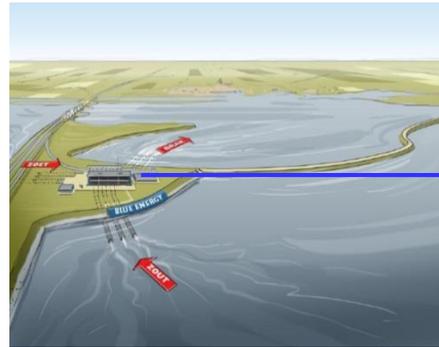
REDは日本では低認識 欧州では試験プラントが既に完成  
オランダだけでも原発およそ2基分の発電プラントの建設計画

**RED試験プラント**: REDstack社がアフスラウトダイク(オランダ)に建設(2013年)

## RED発電試験プラント



REDプラント建設場所



REDプラント概要



REDモジュール写真

オランダでのREDプラント計画  
200 MW (アフスラウトダイク)  
500 MW (ボトレック)  
1000 MW (ロッテルダム)

FUJIFILM製  
イオン交換膜使用

Pieter Hack, 3rd Osmosis Membrane Summit – Barcelona April 26-27, 2012