

ホテアオイを用いた二酸化炭素の 吸収固定に関する基礎的研究

石井 猛・西山 成実*・西 健治郎*

岡山理科大学工学部応用化学科

*岡山理科大学大学院工学研究科

(1997年10月6日 受理)

1. はじめに

周知のごとく、近年、環境問題は世界的規模に拡大しており、その関心の高まりには目覚ましいものがある。特に、森林の伐採、工場、車の排気ガスによって発生する温室効果ガスが引き起こす地球の温暖化は深刻であり、これから来たるべき21世紀に向けて、解決すべき重要な問題である。そこで著者らは、Table 1に示すように、温室効果ガスの中でも最も温暖化寄与率の高い二酸化炭素について注目した¹⁾。Fig. 1に示すように現在、地球上の二酸化炭素は約350 ppmである。しかし、世界の二酸化炭素放出ははまだ増加する一方であり、西暦2000年には約400 ppmになると推測されている²⁾。又、地球の平均気温はこの一世紀で約0.6°C上昇したと報告されており³⁾、このような趨勢を考えると地球の温暖化はもとより、海面の上昇、異常気象、更には、人口増加に伴う食糧不足をも引き起こしかねない。このような状況を考慮すると二酸化炭素を吸収固定し、それらを有効利用していかなければならない。その方法として次のような方法がある。a) アミン吸着法：アミン系などの溶液と排ガスを接触させ溶液中に吸収、除去する方法、しかし、この方法は、吸収した二酸化炭素を溶液から加熱して取り出すとき、多量のエネルギーが必要である。b) 物理吸着法：活性炭や多孔質体のゼオライトを吸着剤として使って二酸化炭素を除去する方法：温度差を利用する方法と、圧力差を利用する方法がある。前者は原料濃度の上昇とともに費用も上昇するのに対し、後者はその問題も無く任意のガス濃度の分離ができる。c) 膜分離法：ガスの透過速度の差を利用して二酸化炭素を分離する方法：この方法は、温度差や圧力差が必要無いので、エネルギー不要で装置の小型化も可能である。

Table 1 Percentage of greenhouse effect gas contribution to global warming

Substance	Percentage
Carbon dioxide	55%
Flon 11. 12	17%
Methane	15%
Other flon	7%
Dinitrogen monoxide	6%

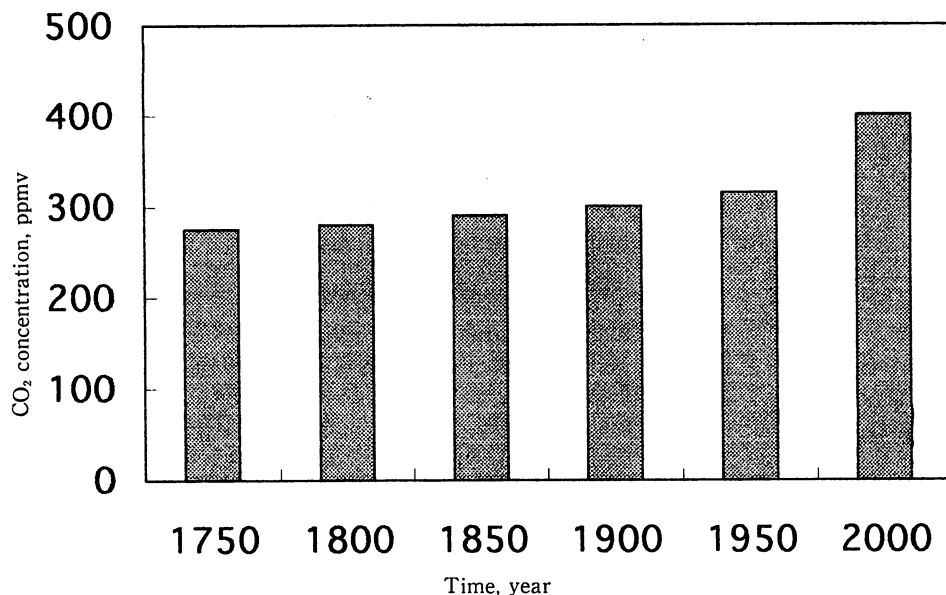


Fig. 1 Time course of carbon dioxide concentration

d) 接触水素化法：二酸化炭素と水素を触媒を使用して反応させ、メタノール、メタンなどに転換する方法、この生産物の用途としては燃料にしたり、メタノールをホルムアルデヒドに変えてポリマー原料にされている。e) 光電気化学法：太陽光を利用して電気化学的に二酸化炭素を固定する方法、この方法は実用化に時間が必要である。f) 海洋投棄：二酸化炭素に圧力を加えて液化し、海中で5℃程度に冷却して、シャーベット状の化合物にする方法、この方法は、深海中でも固定化できるという利点はあるが、安全性については疑問視されている。g) 光合成利用法：微生物や植物などの自然の光合成機能を利用する方法と化学反応で人工的に光合成を再現する方法、この手法は、菌、藻類の遺伝子操作による新種開発が盛んである。h) 海洋攪拌法：海洋に吸収される二酸化炭素が海面付近に偏らないように海洋を攪拌し、より多くの二酸化炭素を吸収させる方法。著者らは、これら a) から h) の方法の中で従来の技術の延長上で本質的にできると考え、g) の光合成利用法を選択した。著者らは、光合成利用法を研究するにあたり、植物が吸収する二酸化炭素濃度を正確に測定できる装置の開発に取り組み、温度、湿度、照度を制御できる植物育成装置を提案した。そして、その植物としてホテイアオイを用いた。ホテイアオイは南米原産のミズアオイ科の水性植物で、繁殖力が旺盛であり栄養価も高いことからバイオマスエネルギーや次世代の食糧源として注目されている。その反面、ホテイアオイは大繁殖するため、水路交通の妨げとなったり、腐敗することで悪臭を放つので世界の三大公害草として知られている。今回は植物育成装置の開発およびホテイアオイの葉部からの二酸化炭素吸収能力についての研究成果を報告する。

2. 研究方法

2-1 植物育成装置の開発と基礎的研究

ホテイアオイが吸収する二酸化炭素量を測定する装置の開発について取り組んだ。最初は水槽の中に水とホテイアオイを入れ、ホテイアオイ上の空気をマイクロシリンジでサンプリングした。検量線は、標準ガスをマイクロシリンジでサンプリングして作成した。次に4段の棚を作り、そのうえにホテイアオイと水の入った水槽を置く。これをポリプロピレン製の箱で覆いめぐるして外気から遮断した。同じくマイクロシリンジでサンプリングした。検量線は計量管のついた（手動式）ガスサンプラーで作成した。以上の方法において、さまざまな問題点が発覚した。これらの問題点を解決するべく植物育成装置を発案し、ホテイアオイを育成させた。Fig. 2は植物育成装置の前面図と側面図である。

2-2 植物育成装置の性能

本研究に用いた植物育成装置は外気から遮断され、温度、湿度、照度をともに一定に保つことができる。運転可能温度範囲は周囲温度が5℃から35℃以内であり、性能は循環、換気式で、温湿度調節は定値式光イオン化検出器（PID）比例制御で行なわれており、温度調節精度は、温度安定に±0.5℃以内、湿度安定時に±0.5℃以内、室内平均風速は床全面より吹き出し0.30m/sec以下である。照度は、メタルハライドランプ（MLBOC 400C-U：三菱製）を3灯使用し、約50000lux以上である。

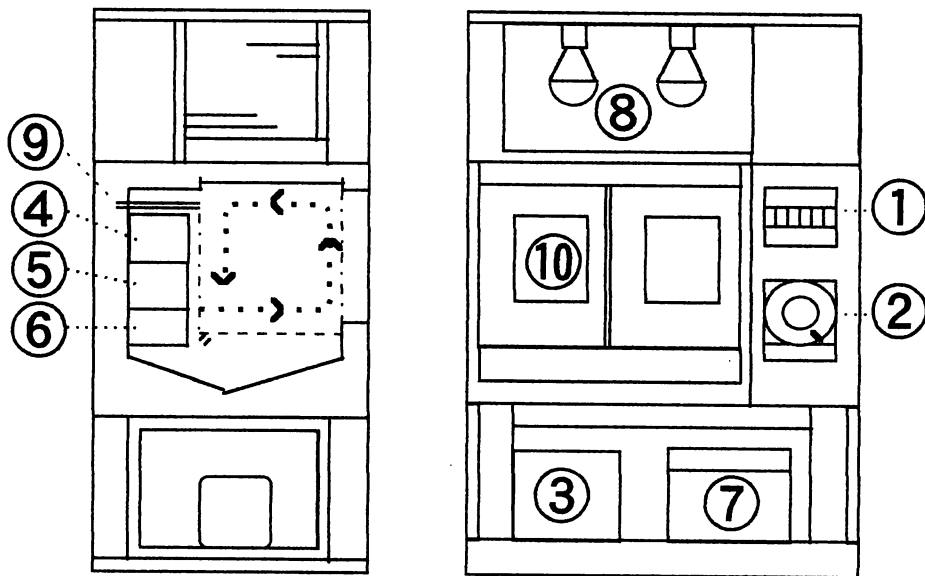


Fig. 2 Front view (right figure) and cross sectional side view (left figure)

- ① Temperature controller, ② Time switch, ③ Air-cooled freezer, ④ Refrigerator, ⑤ Heater, ⑥ Center fan, ⑦ Humidifier, ⑧ BOC lamp, ⑨ Gas purge entrance, ⑩ Water Hyacinth, → : Air flow

2-3 自動測定装置

本研究に用いた自動分析装置の全体図は Fig. 3 に示すとおりである。植物育成装置からガス管（直径 2 mm，全長 3 m）でガスクロマトグラフに連結させ，その間にオートサンプラー（PRG-102A：島津製）で制御した。ポンプで植物育成装置内の気体を吸引し，一定時間ごとにサンプルを採取して二酸化炭素濃度を測定した。

2-4 ガスクロマトグラフの分析条件

本研究に使用したガスクロマトグラフの分析条件は，注入口の温度を 70°C，カラムの温度を 60°C に設定した。検出器に流す電流の強さは 140 mA の状態で，カラムに 2 m × 3 mm のポラパックを使用し，検出器には TCD を用いて研究を行なった。

2-5 ホテイアオイの育成条件

今回の研究において使用したホテイアオイおよび水は岡山市南部の児島湖で採取したもので重量は約 20 g から 350 g のものを用いた。ホテイアオイの育成条件として植物育成装置内の二酸化炭素初期濃度を 280 ppmv，350 ppmv，500 ppmv および 700 ppmv と変化させた。照度は 5000 lux，10000 lux，15000 lux，30000 lux，45000 lux ならびに 50000 lux において研究を行なった。ランプは 14：00 に点灯し 12 時間光を照射した後の 2：00 に消灯する。植物育成装置内の二酸化炭素濃度の測定は 13：00 から開始し 15 分毎に連続 24 時間サンプリングを行なうように設定した。

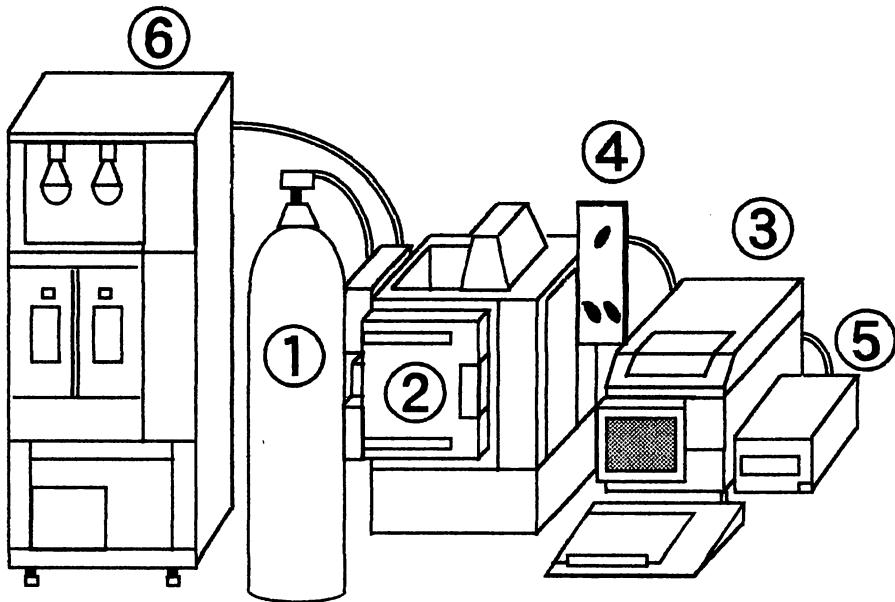


Fig. 3 Plants cultivating apparatus and auto analysis apparatus

① Carbon dioxide cylinder, ② Gas chromatograph, ③ Chlomato pac, ④ Gas sampler, ⑤ Auto analysis apparatus, ⑥ The plants cultivating apparatus

3. 結 果

3-1 植物育成装置と基礎的研究

基礎的研究においては、ホテイアオイ上の空気をサンプリングするとき外気と遮断されていないため大気と混合してしまう問題点が生じた。ポリプロピレン製の囲いで覆うと太陽光を透過する為、照度は太陽とほぼ同じになるが、外気と遮断されていたために湿度が異常に高くなり、ポリプロピレンの壁面に結露が生じたり、温度が著しく高くなるという問題点が発覚した。以上の2つの実験では、いずれもサンプリングにマイクロシリンジを使用するため再現性の問題が生じた。今回著者が発案した植物育成装置とオートサンプラを組み合わせてガスクロマトグラフで分析する方法により、これらの問題点は改善され、ホテイアオイの吸収する二酸化炭素量を正確に測定することができた。

3-2 水の蒸発、サンプリングによる誤差の補正

ホテイアオイは水生植物で水上で生息するため、今回は水槽に水を入れホテイアオイを育成するという形をとった。そのため水が蒸発することによって、水中の二酸化炭素が蒸発し正確な結果が得られない可能性があった。また、オートサンプラで植物育成装置内の空気を採取するため、減圧による影響を考慮して誤差を補正するため空の状態、水だけの状態で二酸化炭素濃度の測定を行ない、以下の研究結果に誤差の補正を施した。

3-3 二酸化炭素濃度の日変化

Fig. 4は、温度25°C、湿度60%、照度30000 luxにおける1日の二酸化炭素濃度変化について研究した結果である。二酸化炭素はランプが点灯すると急激に吸収され、一定濃度になるとそれ以上吸収されなくなりランプが消えるまでこの一定濃度で推移する。このとき二酸化炭素の吸収速度と放出速度はつり合っており、この濃度、すなわちCO₂補償点は

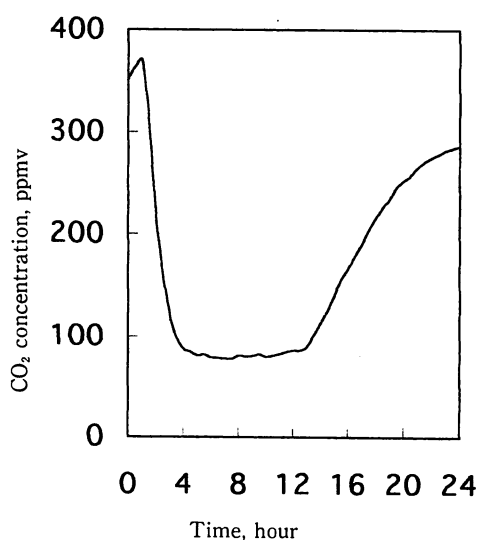


Fig. 4 Time course of carbon dioxide concentration

今回の研究では 59.6 ppmv であった。ランプの消灯とともに二酸化炭素の放出が始まり、二酸化炭素濃度は徐々に上昇する。この条件下では吸収速度が 149.4 ppmv/hr、放出速度が 23.8 ppmv/hr と吸収速度が放出速度の 6 倍以上であるという結果が得られた。二酸化炭素の吸収速度と放出速度の関係について Fig. 5 に示す。二酸化炭素の吸収速度と放出速度の間には、相関係数 0.94 と直線性が得られ、 $Y = 6.6x - 29.8$ という式で表現される。吸収速度が放出速度をはるかに上まわることから、吸収量が放出量より多いことが判明した。このことからホテイアオイにより二酸化炭素が固定化されていることになる。固定化量は二酸化炭素の最大濃度から放出終了時濃度の差で、温度 25°C、湿度 60%、照度 30000 lux の条件下では約 70 ppmv/day という結果が得られた。

3-4 各初期濃度における二酸化炭素濃度の日変化

Fig. 6 は植物育成装置内の二酸化炭素の初期濃度を約 280 ppmv、350 ppmv、500 ppmv ならびに 700 ppmv と変化させて二酸化炭素濃度の経時変化について研究を行なった結果である。初期濃度はそれぞれ違うが、CO₂ 補償点である約 60 ppmv になるとそれ以上二酸化炭素濃度は減少しなくなる。各初期濃度における二酸化炭素の吸収速度と放出速度について示したものが Fig. 7 である。高濃度になるほど二酸化炭素の吸収速度が増大するという結果が得られたが、放出速度については各濃度ともほぼ一定な値を示した。これにより、二酸化炭素初期濃度は吸収速度を決定する要因の 1 つであることが判明した。

3-5 照度変化と二酸化炭素吸収速度の関係

Fig. 8 は照度 5000 lux、10000 lux、15000 lux、30000 lux、45000 lux および 50000 lux に

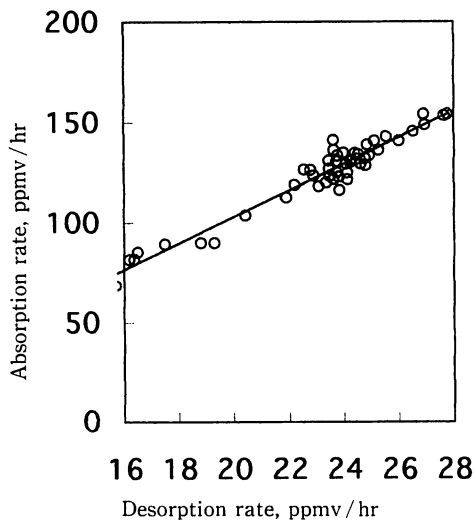


Fig. 5 Relation between absorption and desorption rate of carbon dioxide

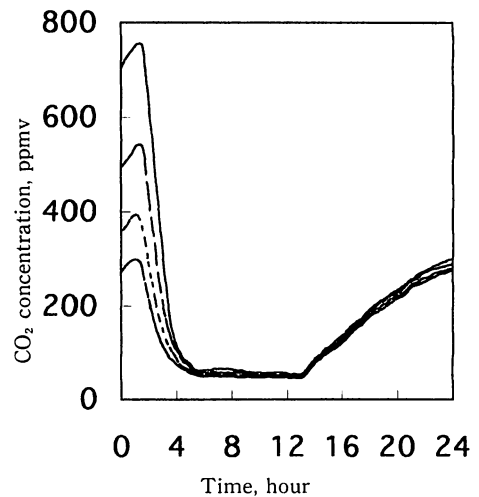


Fig. 6 Time course of carbon dioxide concentrations at its initial concentrations of 280, 350, 500 and 700 ppmv
 ----- : 380 ppmv, : 350 ppmv
 - · - · - : 500 ppmv, ——— : 700 ppmv

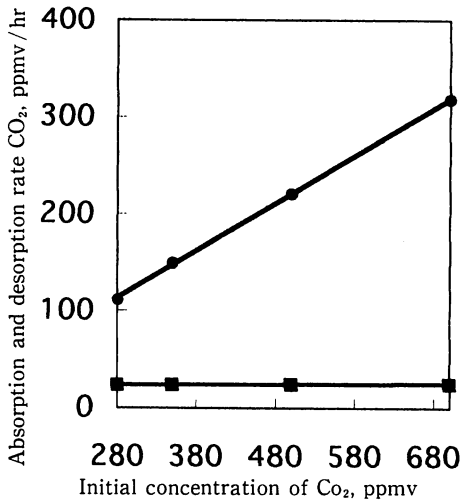


Fig. 7 Relation between absorption and desorption rate at its initial concentrations of 280, 350, 500 and 700ppmv
 ●: Absorption rate,
 ■: Desorption rate

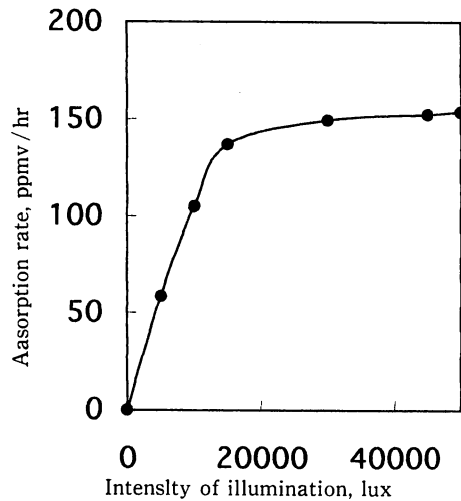


Fig.8 Relation between intensity of illumination and absorption rate of carbon dioxide

において吸収速度を示した結果である。15000luxまでは急激に上昇し、30000luxまでは緩やかに上昇した。それ以降はほぼ一定の値を得た。よって、ホテイアオイの二酸化炭素吸収に関する飽和光は、30000lux以上であるという結果が得られた。

4. 考 察

著者らの研究によって、植物育成装置内の二酸化炭素を正確に測定できるということが認められた。今回は、実験室内に限られた環境で測定したが、ホテイアオイの生息する児島湖、工場地帯、および街中で大気のサンプリングを行ない分析し、二酸化炭素および、NO_x, SO_x 等の吸収能力についても明らかにしたい。

参考文献

- 1) J. Porritt: Save the earth, 97 (1991).
- 2) C.D. Keeling, R.B. Bacastow, A.E. Bainbridge, C.A. Ekdahl, P.R. Guenther, and L.S. Waterman : Tellus, 28, 538 (1976).
- 3) Robert K. Kaufmann and David I. Stern : Nature, 3, 39 (1997).

Fundamental Study on the Absorption Fixation of Carbon Dioxide by Water Hyacinth

Takeshi ISHII, Narumi NISHIYAMA* and Kenjirou NISHI*

Department of Applied Chemistry

Faculty of Engineering

Okayama University of Science

**Graduate School of Engineering*

Ridai-cho 1-1, Okayama 700-0005, Japan

(Received October 6, 1997)

As is well known, greenhouse effect gases cause serious global warming and it is a very important problem for the coming 21st century. The authors observed the greenhouse effect of carbon dioxide, whose contribution to warming is the highest. Now the concentration of carbon dioxide is approximately 350 ppmv and is estimated to become 400 ppmv in the year 2000. The authors selected photosynthesis utilization method and tried to study the absorption fixation of carbon dioxide using Water Hyacinth of aquatic plant. Also, an apparatus was developed for the accurate measurement of the concentration of carbon dioxide. The authors suggested a plant cultivating apparatus, whose temperature, humidity and illumination intensity can be controlled, for growing Water Hyacinth. The authors studied a continuous 24 hours measurement changing initial concentration of carbon dioxide and illumination intensity in a plant cultivating apparatus. As a result we could accurately measure the carbon dioxide concentration in a plant cultivating apparatus with this apparatus and the authors obtained optical condition in carbon dioxide absorption fixation of a Water Hyacinth.