

超微細気泡生成技術GALFの原理と環境分野でのアプリケーション

石田芳明 柏 雅一 木村春昭 阿波加和孝 田伏栄徳
徳田 潤 錦 朋範 米田 稔 藤田俊弘
IDEC 株式会社

1. はじめに

地球規模での二酸化炭素排出量の削減や省エネルギー等を始めとした地球環境関連産業分野は、グローバル社会が既に最優先課題としてあらゆる観点から前向きに取り組み始めており、我が国日本においても、新成長戦略の中では「グリーンイノベーション」と呼ばれる最重点成長分野として位置づけられ、様々な新技術による革新と挑戦が必要かつ重要となっている。とりわけ、これら環境関連分野の要素技術に関しては、日本がリーダーシップを有するものが多くあり、グローバル社会において産業的にも大きく成長する可能性を有している。

我々IDEC 株式会社は、1945 年に和泉電気(株)として創業後、ものづくり分野や FA(Factory Automation)分野に特化した研究開発型エキスパート企業として、様々な制御・制御システムに関する技術イノベーションに注力し、自動車製造産業、半導体・液晶・太陽電池製造産業、ロボット、工作機械、食品機械、また各種プラント等々、工場向けから機械装置向けまで幅広いアプリケーションに対応する制御機器、安全機器、防爆機器、LED 関連機器、そしてそれらの統合化制御システムなどを開発し、社会に提供してきた。2005 年 11 月には創業 60 周年を機に社名を IDEC(アイデックと呼称)と変更し、“ Think Automation and Beyond...”という企業ポリシーに表現されるように、独自の自動化(Automation)技術や制御(Control)技術開発を一層推進し、ソリューションと共に提供することを社会的責任と位置づけて、事業展開を行っている。

その中でも上述の地球環境関連分野は、注力最重要分野の一つであり、今回ここで報告する超微細気泡発生技術 GALF は、IDEC 独自の流体制御技術として、1990 年から環境分野応用装置用に開発したものである。1992 年頃から水質環境の保護改善の手段として排水処理や湖沼浄化に実際に適用し、その後現在までの約 20 年間、後述するように土壌浄化、農業応用、そして生物多様性への対応も含めて、200 例を超える様々なアプリケーションに装置を適用してきている[1-15]。なお、GALF は Gas Liquid Foam の略語で IDEC の登録商標であり、今までの取り組みの経過や歴史的な詳細は、[15]に記載の通りである。

この GALF は、気液混合、気体の液体への加圧溶解、減圧による溶解気体析出を一連の連続した配管の管路断面積の増減で行う方式で、加圧管路方式と呼んでいる[5]。加圧管路方式は、寺坂[16]の代表的なマイクロバブル分散器の分類では、加圧溶解方式の一種に分類される。

我々は現在までの約 20 年間に及ぶ GALF を中心とした超微細気泡発生技術開発を通じて、現場応用に有益な様々な周辺技術を構築してきており、これらの我々の経験に基づいて、GALF 方式の特徴をまとめた内容を表 1 に示す。この表から判るように、他の微細気泡生成技術と比較しても GALF はユニークな特徴を有し、これらの特徴により、実際に様々な現場で使用されている。

なお、今回ここで我々が GALF 技術に関して報告するきっかけは、2009 年 12 月に関西大学で開催された日本混相流学会第 35 回マイクロ・ナノバブルの特性とその応用、に参加した際に、多くの非常に興味深い発表があり[16,20-23]、それらの発表から、今後の微細気泡発生技術の産業分野での飛躍的発展が可能であると確信したからである。

そのため、今後の微細気泡発生技術の更なる展開を目的として、IDEC における今までの約 20 年間に基づく経験・知見を基に表 1 をまとめている。勿論、それぞれのご専門家からは、この表 1 に対して色々と違った見方や異論もあろうと推測しており、今後、有意義かつ建設的な討議に発展させていければと考えている。

表 1. IDEC での 20 年の経験に基づく GALF の特徴と他の微細気泡生成技術の比較 *1

		GALF 式		せん断式		散気式	
		気体を液体に加圧溶解させその後減圧し、溶解できなくなった気体を超微細気泡の形で析出させる方法		物理的作用によって空気または気泡を粉碎することで微細気泡を生成する方法		小孔から液体中に気泡を噴出させることで微細気泡を生成する方法	
要求機能・性能	微細気泡生成	微細気泡が生成可能	◎	微細気泡が生成可能*2	◎	微細気泡が生成可*3	○
	過飽和水の供給	気体が過飽和溶解状態となった過飽和水を供給可	◎	気体が過飽和状態となった加圧水を供給できない	×	気体が過飽和状態となった加圧水を供給できない	×
	溶存酸素向上 (DO 値)	DO 値が飽和比 150%以上を連続供給可能	◎	DO 値が飽和比 100%程度	○	DO 値が飽和比 100%程度	○
	水中浮遊物との結合力	帯電による電気的な吸着気泡成長による食い込み	◎	帯電による電気的な吸着	○	帯電による電気的な吸着	○
	経済性	ポンプ動力が大きい	△	ポンプ動力が大きい	△	ブローワーのみで低動力	◎
	メンテナンス性	GALF は予め制御技術をシステムに組み込んでいるので、メンテナンス性は良い	◎	制御要素が散気式より多い	○	他方式より制御要素が少ない	◎

*1 IDEC の実験・経験による判断 ◎：非常に有効、○：有効、△：あまり効果なし、×：機能なし

*2 寺坂[16]による代表的なマイクロバブル分散器の分類で、巡回液流式、エゼクタ式、ベチュリ式に相当する。

これらの方式による微細気泡の生成が大成、竹村、松本らによって報告されている[17,18,19]。

*3 寺坂[16]による従来型ガス分散器の分類で、多孔板、多孔質板、コンスタントフローノズル板に相当する。

そのために、ここでは、GALF の基本的な原理や特徴、また微細気泡発生に関する他方式との違い等を説明し、後半では我々が実際に取り組み、多くの装置を実際に適用している環境分野アプリケーションについての事例を報告する。

2. GALF システム

配管内を流れる流体は、流速と静圧の間にベルヌイの定理の関係が成立することが知られている。GALF システムは、流体のこの性質を利用して、一連の連続した配管の管路断面積を増減させることで、流速と静圧を制御し、気液混合、気体の液体への加圧溶解、減圧により溶解気体析出を行わせて微細気泡を生成する方法である[5]。

2.1 GALF システムの基本原理と構成

まず、図 1 を用いて GALF システムの基本原理を示し、次に、図 2 を用いて実際の GALF システムの構成を以下に説明する。

2.1.1 GALF システムの基本原理

(1) 入口部

液体がポンプなどの圧送手段によって GALF システムの入口部に圧送される。

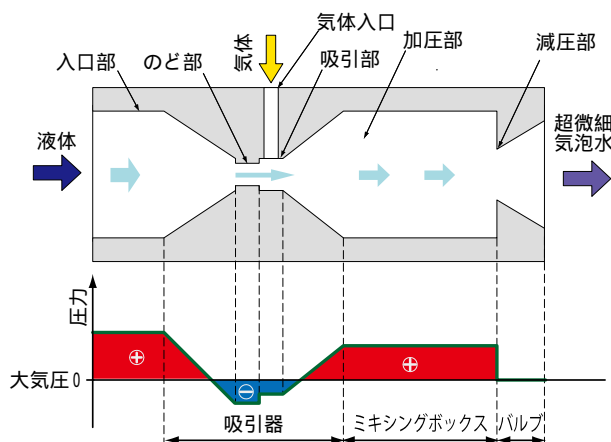


図 1. GALF システム基本原理

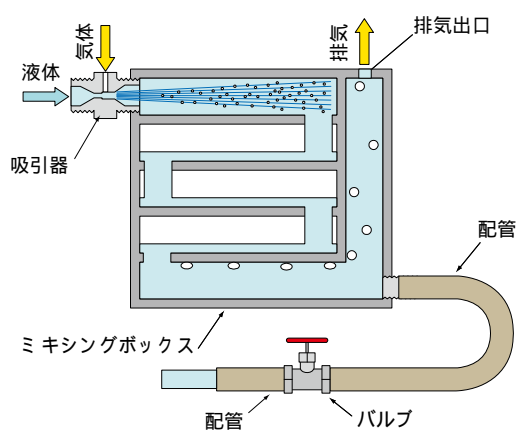


図 2. GALF システム構成図

(2) のど部

圧送された液体は、隘路であるのど部を通過する際に加速され静圧が減少し、大気圧よりも圧力の低い負圧状態になる。

(3) 吸引部

負圧となった液体は、のど部より僅かに流路の広い吸引部で気体を自吸し、気液混相流を形成する。吸引部は、のど部より流路が広くになっているが、十分な負圧が維持されている。気体吸引口を圧力の最も低いのど部ではなく、吸引部に設けている理由は、のど部に気体吸引口を設けた場合、液体が非圧縮性流体であるため気体の流入する流路が確保されず、安定した気体吸引が得られないためである。

(4) 加圧部

吸引部で形成された気液混相流は、加圧部において流路が広がり流れが遅くなることで再び静圧が上昇し加圧状態となる。気液混相流では、加圧により気体の液体への溶解度が増加するため気体が液体に加圧溶解する。

(5) 減圧部

気体が液体に加圧溶解した気液混相流は、減圧部で大気圧に減圧する。大気圧に減圧されたことによって、加圧溶解していた気体は、気体の液体への溶解度が減少することで過飽和状態となり、微細気泡として析出する。

2.1.2 GALF システムの構成

(1) 吸引器

吸引器は、入口部、のど部、吸引部、気体入口が一体的に構成されている。

(2) ミキシングボックス

ミキシングボックスは、加圧部を形成する上から下に流れ落ちる配管によって構成されている。ミキシングボックス内部は、障害物の無い矩形配管構造で、短時間で高効率の気液溶解が行なわれるように配管の長さ・幅・水深が適切に設定されている。また、ミキシングボックスは、出口部に立ち上がり配管を設け、液体に溶解できなかった気体を排気する。

(3) バルブ

バルブは、減圧部に相当する。液体は、気泡を含まない加圧溶解した状態でバルブに流入し、バルブでの減圧によって気体の溶解度が低下し、溶解できなくなった気体が気泡の形で析出する。

バルブが配管でミキシングボックスから離れた位置に構成されている理由は、気泡が配管内を流れた場合に合泡により気泡数が減少することを防ぐために微細気泡使用点付近で減圧による気泡生成を行うためである。

2.2 気泡径の比較

我々が GALF を開発し始めた 1990 年代前半の頃から、微細気泡の気泡径と気泡数密度は大いに関心事であったことから、我々は画像処理装置を用いた超微細気泡計測装置を製作し、実際に様々な方式と併せて網羅的に計測を行った[3,6]。その結果 GALF システムでは 20 μ m 程度の微細な気泡を生成することが可能であることが当時判明し、以下に各気泡生成方法と気泡径分布の関係を測定した結果を紹介する。

(1) 計測方法

図 3 に CCD カメラを用いた計測システムの概要、図 4 に気泡径撮影画面を示す。

気泡は、奥行き長 D (0.15mm~10mm) の固定された透明アクリル製の計測セルに GALF 等で発生させた微細気泡水を通過させ、通過中の微細気泡水を CCD カメラで撮影する。気泡径は、CCD カメラで撮影した画像を元に画面内の長さを計測する画像解析ソフト (MAC Scorp、WinROOF) を使用した。気泡の密度は、画面で計測した視界の横幅、高さでセルの奥行き D から撮影部分の体

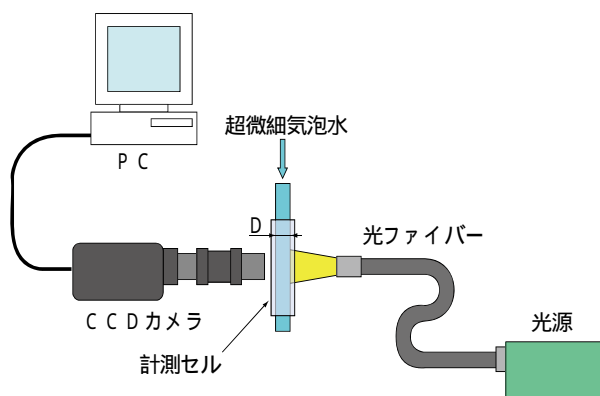


図 3. 微細気泡計測試験方法

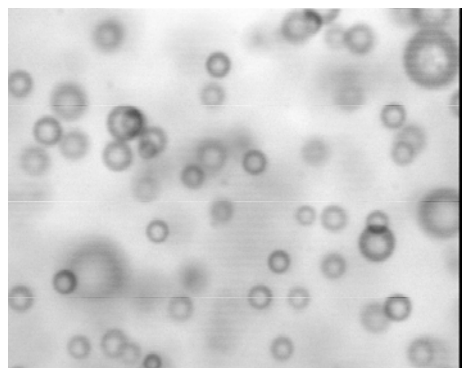


図 4. 微細気泡径撮影画面

積を導き出し画面上の個数を用いて算出した。

なお、奥行き長 D は、セル内すべての気泡数をもれなく計測できるようにカメラレンズの被写界深度よりも十分に短くなるように設定した。

(2) 計測結果

図 5 に、1995 年当時上記の装置にて計測した気泡径 (μm) と気泡数密度 (個/ mL) の関係を示す。

図 5 から明らかなように、GALF システムによる気泡は、気泡径が約 $20\mu\text{m}$ 程度と安定して小さく、気泡数密度が高くなっていることが分かる。このことは、他方式に比べてもユニークな特徴であり、GALF システムがより微細な気泡を安定した気泡径で高密度に生成できる優れた方法であることを示している。

また、昨今、図 5 に示した横軸の範囲より微細な $1\mu\text{m}$ 以下のナノ領域の気泡にも大いに関心が集まっている。

我々が微細気泡計測に注力していた 1990 年代には、「ナノバブル」という言葉の定義も無く、また計測方法も確立していなかったが、昨今いくつかの計測装置がこの気泡径領域で存在するようになった。われわれも GALF で発生される気泡水に関して $1\mu\text{m}$ 以下の気泡計測を行った結果、複数の装置において、極めて有効に多数のナノ領域の気泡が発生できていることを確認している。ただ、複数の計測装置によるデータの分散や整合性に厳密な一致を見ることが現時点では出来ておらず、ここではその公表を控えると共に、現在その定量化に取り組んでいるところである。この計測結果は、まとめ次第、今後の学会で発表予定である。

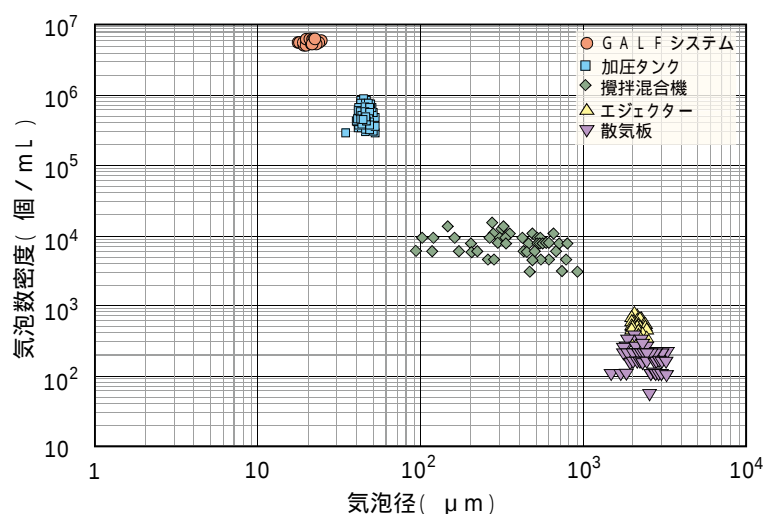


図 5 . 気泡数密度と気泡径の関係 (1997 年に[3,6]で報告)

2.3 GALF システムと加圧タンク式の比較

前述したように、GALF システムは、数十 μm 程度の大きさの気泡を発生する超微細気泡製造装置として、排水処理などの産業分野で 200 件以上の設置実績がある。

表 2. GALF システムと加圧タンク式の比較
(6m³/h のシステムにおける比較)

比較項目	加圧タンク式	GALF システム
ポンプ動力 (kW)	4.0	4.0
コンプレッサ (kW)	0.4	不要
立上時間 (秒)	1,200	15
混入する異物の最大許容径 (mm)	1	8
気液混合の圧力調節	難	易

これは、特に浮上分離において従来から使用されてきた加圧溶解方式の加圧タンク方式に対し、表 2 に示すような優位性がある為である[7,8]。なお加圧タンク方式は、図 6 に示したような、加圧されたタンクの上部から液体を噴霧すると同時に気体を送り込みタンク内で加圧溶解を行わせる方法である。

(1) 動力

ポンプ動力は、GALF システムと加圧タンク方式とは等しいが、GALF システムにはコンプレッサが存在しないため、その動力が削減できる。

(2) 立上時間

GALF システムは、加圧タンク方式より短い時間で立上げることができる。GALF システムは、加圧管路内を液体が通過する所要時間があれば微細気泡を生成することができる。加圧タンク方式は、内部に液体が滞留しているため、この液体が希釈されながら完全に入れ替わるまでの時間が必要となる。この為、加圧タンク方式は、実現場で緊急に微細気泡が必要になるアプリケーションの場合、24 時間待機運転の必要がある。

(3) 混入する異物の最大許容径

GALF システムは、のど部の隘路の大きさが異物の大きさを決定する。加圧タンクは、タンク内のスプレーノズルが異物の大きさを決定する。

(4) 気液混合の圧力調節

GALF システムは、のど部で作られた負圧によって気液混合を行うため、気液混合における圧力調節が液体圧力調節のみである。加圧タンク方式は、液体と気体が独立して加圧タンク内に流入するため、それぞれ圧力調節が必要となる。また、加圧タンク方式は、気体と液体の圧力バランスが気温や水温による粘度の変化によって変わるため頻繁に圧力を再調整する必要がある。

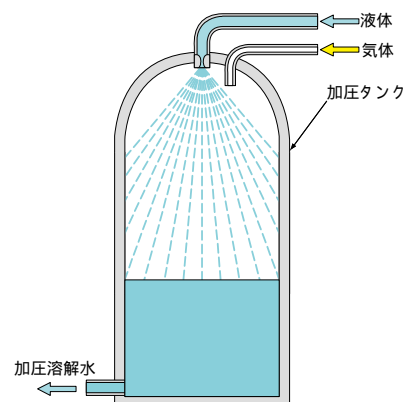


図 6 . 加圧タンク概要

3. 環境分野でのアプリケーション

以上説明したように、GALF は原理的にもユニークな特徴を有していることから、様々なアプリケーションに応用されている。ここでは、そのうちの代表的な例を説明する。特に、GALF の特徴は、a)微細気泡生成、b)過飽和水供給、c)溶存酸素向上、そして d)水中浮遊物との結合力、というようにまとめることができ、これらとこれから以下に示す、アプリケーションにおける必要性を表 3 に示す。以下に順次、これらについて説明する。

表 3. GALF 環境分野のアプリケーションと GALF の特徴との関係

	微細気泡生成	過飽和水供給	溶存酸素向上	水中浮遊物との結合力
浮上分離	○	○	—	○
ウエハー剥離	○	○	—	—
植物栽培	○	—	○	—
動物入浴	○	—	—	○
土壌浄化	○	—	○	—

3.1 浮上分離への応用

浮上分離は、水中の SS や油分などを含みエマルジョン化している汚水に凝集剤を添加し、SS や油分の凝集したフロック（凝集物）を形成させ、このフロックに微細気泡を付着させて浮上させる

ことにより水中の汚濁物質を除去する方法である。

通常、浮上分離には、加圧溶解方式で生成した気泡が使用される。これは、加圧溶解方式の気泡は、その帯電によるフロックへの付着能力だけでなく、図7に示すように、気泡析出初期の小径気泡がフロックの隙間に侵入した後に周囲の過飽和水からの気体析出によって大きくなり、気泡がフロック内部に食い込んだ状態となって強く結合するためである。

浮上分離では、GALF を用いたアプリケーション例が、自動車工場、食品工場といった一般的な産業分野で多数あるが、その中でもユニーク性の点で特筆すべき例は、関西電力堺 LNG センターに 2000 年に設置され、現在でも順調に稼働中であるクラゲ減容化システムである。火力発電所の海水冷却用取水口から海水と一緒に吸入されるクラゲは、従来は廃棄物として処理されていた。このシステムではそのクラゲを細かくカッティングし、GALF の浮上分離とフィルタプレスを併用することで、廃棄物容積 0.1%程度に減容処理し、残る 99.9%を処理水として放流することを可能とした。このアプリケーションは、腐敗したクラゲフロックが非常に脆いため、GALF の超微細気泡だけがそのフロックを破壊せず浮上分離できたためである。

このクラゲ減容化システムは現在、5 箇所で稼働中であり、10 年間の実績のある信頼性の高いシステムである。昨今、地球温暖化の影響や、食品廃棄物の大陸からの増加等により、日本海における巨大クラゲ大量発生による漁業への悪影響が広く報道されている中、GALF を用いたクラゲ減容化システムが、漁業分野という地球環境問題での応用において、将来的に有益となるものと予測している。

3.2 太陽電池ウェハー製造装置への応用

GALF は、半導体・太陽電池製造分野にもユニークな技術として応用されており、ここでは、昨今市場として急拡大している太陽電池製造分野の例を図9について示す。

GALF を利用した太陽電池ウェハー枚葉剥離装置である[24]。太陽電池ウェハーは、粗洗浄後、複数毎重なったスタック状態で供給される。太陽電池ウェハーの厚みは、太陽光発電システムのコストダウンの必要と共に、急速に薄膜化してきており、薄膜化が進めば進むほど、枚葉剥離中に割れやすくなる問題があった。ここでも、GALF は特徴的な技術として応用されており GALF を用いた枚葉剥離装置の概要を、図10、図11を用いて以下に説明する。

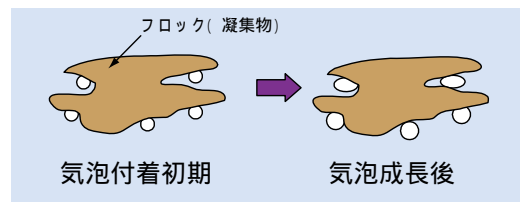


図7. フロックへの微細気泡付着状態

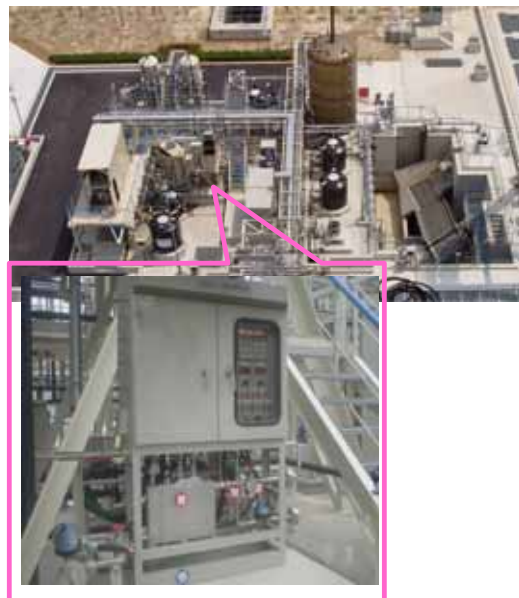


図8. クラゲ減容化システム



図9. 太陽電池ウェハー枚葉剥離装置

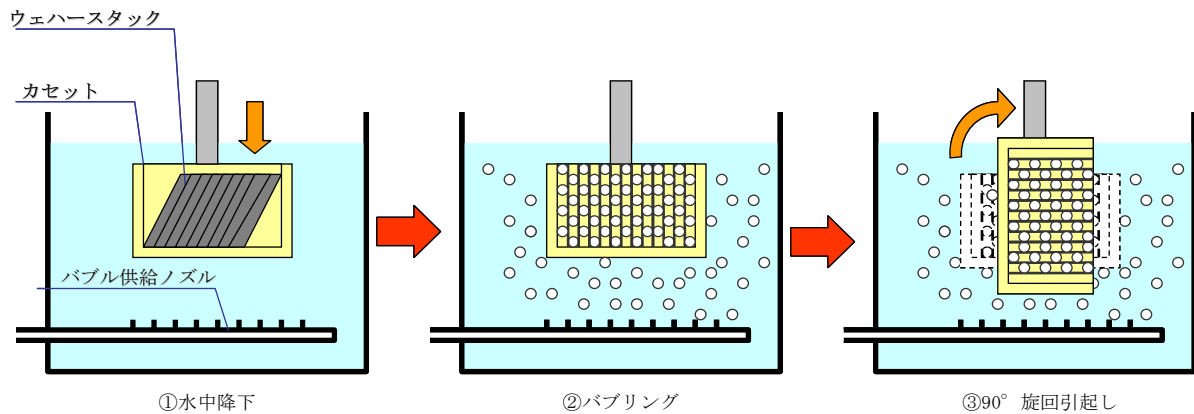


図 10. ウェハーへの超微細気泡作用シーケンスの様子

- (1) カッティング粗洗浄後のウェハースタックを枚葉剥離槽に降下させる。
- (2) 枚葉剥離槽内に **GALF** 超微細気泡、及び飽和水のバブリングを行う。この時、ウェハーの隙間に超微細気泡が入り込み、気泡層を形成する。
- (3) 十分な超微細気泡層が形成された後にウェハースタックを 90 度旋回させる。
- (4) ウェハースタックから切り出しローラでウェハーが 1 枚ごと搬出される。このとき、各ウェハーの隙間に形成された超微細気泡層がクッションの役割を果たすため、ウェハーへ負荷をかけずに枚葉剥離することができる。

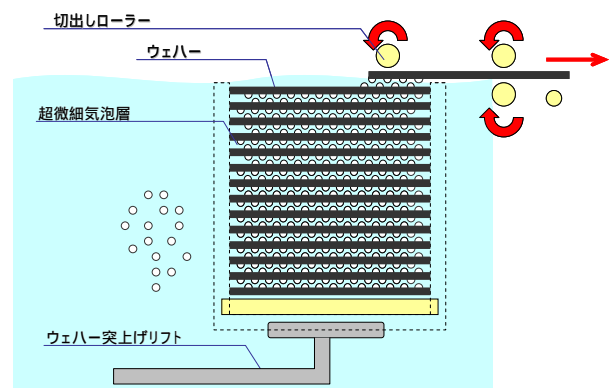


図 11. 超微細気泡層とウェハーとの関係

太陽電池の分野は、化石燃料を使用しない創エネルギー技術の一つとして急速に進展しており、超微細気泡発生技術 **GALF** を効果的に活用することで、更なる太陽電池製造コスト低減への貢献も可能であると考えている。

3.3 植物栽培・植物工場への応用

IDEC では、**GALF** を植物栽培へ適用することを早くから実践しており、主な先駆的事例としては、バラの水耕栽培 (1993 年)、トマトの水耕栽培 (1995 年)、メロンの水耕栽培 (1996 年)、キュウリの水耕栽培 (1996 年)、カイワレ大根の催芽処理 (1996 年) などがある[9-12]。

昨今、日本の農業は、就業人口の減少、少子高齢化や自給率の低下、また外国からの農産物輸入自由化の要請など様々な問題を抱えている。経済産業省、農林水産省は、農業を活性化し、魅力ある産業とするため、農商工連携による植物工場の普及・拡大を図り、農業生産の工業化、自動化を推進している。

このような状況下、IDEC 保有コア技術である **GALF**、また LED 照明を用いた栽培制御システム構築のため、当社富山事業所に図 12、図 13 に示す植物工場ラボを 2009 年 9 月に立ち上げている[14,25,26]。栽培方式は高設ベンチ栽培であり、培土は市販ベンチ用培土を使い、供試品種としてイチゴ (ブランド名「もういっこ」) を 1,700 株、2009 年 9 月に定植してイチゴを栽培した。イチゴ根に供給される水の溶存酸素濃度を高めることで、その活力や成長の促進を目的に、図 14 の写真に示すように **GALF** 超微細気泡水を灌水用水として使用した[12]。

ハウス内では、日長調整や曇天時の照度不足を補うための補助光としての高演色 LED 照明点灯制御を行い、またハウス内外の温度・湿度・土中水分率・照度などを自動測定し、遠隔でモニタリングできるようなシステムとした。さらに Web カメラにより、植物の生育状態を常時監視可能とした。また灌水システムも自動制御を行い、その用水を水道水と GALF 超微細気泡水で比較実験を行った。

GALF 水は肉眼で確認できる気泡が消失しても、溶存酸素濃度が長時間に渡って高濃度に保持されることを確認しており、実際、植物工場ラボでの測定では、蒸留水の飽和溶存酸素量比、150～160%の高い値を示している[14]。

イチゴの収穫は 12 月頃から始まり 6 月まで収穫を続け、その結果 2 つの効果が確認された。1 つ目は水道水と GALF 水の使用において、イチゴの収穫量に差があったことである。気温が低い間には顕著な差はなかったが、気温が上昇するに従って 6～7%の差が現出した。最終的なイチゴの収穫量は、水道水使用対象が 759.7kg に対して、GALF 水使用対象は 791.1kg であった。

2 つ目は、イチゴの根の大きさ（根の増え方）が全く違っていたことである。図 15 に乾燥状態でのイチゴ根の写真を示しており、右列が通常の水道水利用の根、左列が GALF 水利用の根を示しており、外観からも GALF 水において「ふさふさ度合い」が格段に高いことが明確である。図 16 に根の乾燥質量のグラフを示すが、差は顕著である。これらは、水道水と比べて GALF 水の方が溶存酸素濃度が高いので、灌水によってイチゴの根へ多く酸素供給され、根の活力や成長が促進されたと推測できる。

来シーズンは、栽培する過程において LED 照明の最適制御化[25]と、3 波長レーザ照明[26]等も有機的に付加することにより、GALF との相乗効果を発揮できるような実証実験を進めて行く。なお、ここではイチゴを用いた植物工



図 12. IDEC 植物工場ラボ外観



図 13. イチゴ栽培レーンの様子



図 14. 植物工場ラボ内に設置した GALF 装置の外観



図 15. 乾燥させたイチゴ根
左列が GALF 水、右列が水道水を使用

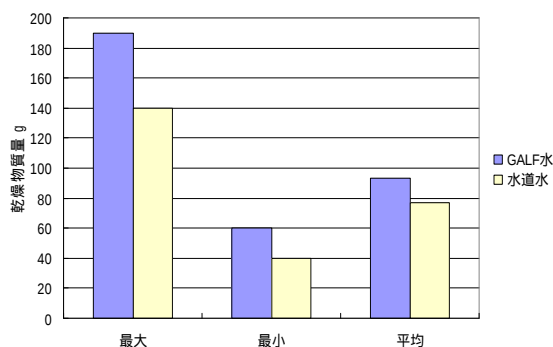


図 16. イチゴ乾燥根質量比較
GALF 水 (左)—水道水 (右)

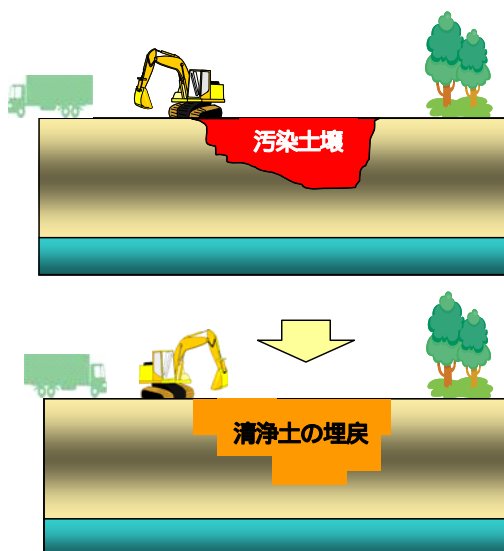


図 17. 掘削除去の方法

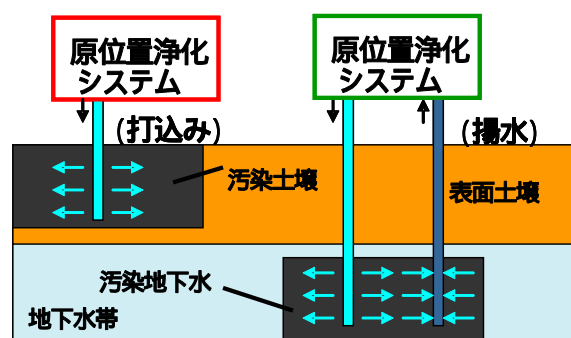


図 18. 原位置浄化システムの概念図

場ラボの例を示したが、栽培対象にこだわらず、GALF 超微細気泡発生技術は、今後の植物工場や更なる農業応用への展開も大いに期待できると考えている。

3.4 土壌浄化への応用

土壌汚染対策法の対象となる物質で汚染された土壌の浄化方法として、汚染土壌の封じ込め手法を除外すると、大きく分けて2種類の方法がある[27]。

現在一番行われている対策方法は、図 17 の掘削除去である。これは汚染土地から、土壌汚染対策法に基づく特定有害物質を含んだ土壌を除去し、汚染されていない清浄土を掘削した場所に埋め戻す。この手法は簡単ではあるが、掘削・運搬・処理・埋め戻しに膨大な費用が必要で、時にはその土地の価格をも超過する場合がある。そこで、近年着目されているのが、図 18 に示す原位置浄化方法であり、その汚染土地の汚染土壌を、土地の外に運び出さずに浄化する方法で、汚染土壌からその場所で対象となる特定有害物質を基準以下にまで減少させる対策手法である。

図 19 は、掘削除去と原位置浄化の方法の費用比較の一例である。この例では、総工事費のうち7割が土壌浄化対策費であり、この部分を減らすことができれば、全体の工事費用を大幅に減らすことが可能となる。

表 4 に、今まで GALF が土壌浄化に利用された例を示す[15]。既に、約 10 年間に亘って、実際の

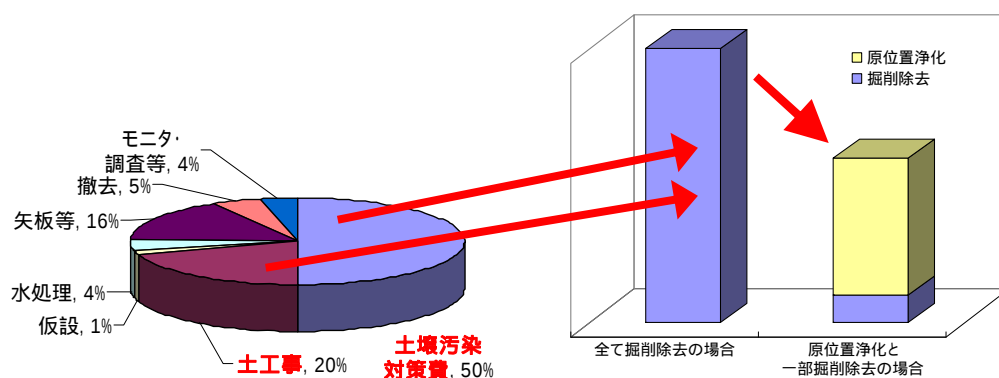


図 19. 掘削除去だけの場合と原位置浄化方法を併用した場合のコストイメージ比較

表 4. GALF を利用した土壌浄化の実施の一例
(GALF ユーザ企業における例)

土壌浄化		
姫路市(官庁)	アンモニア、硫化水素	実証実験済
東京都(官庁)	アンモニア、硫化水素	施工済
山口県(民間)	N-HEXAN	実証実験済
尼崎市(民間)	VOC・(廃油)	施工済
寝屋川市(民間)	VOC	施工済
西宮市(民間)	VOC、重金属	施工済
奈良県(官庁)	臭気発酵処理	施工済
東大阪市(民間)	VOC、重金属	施工済
富山県(民間)	VOC、重金属	施工済
尼崎市(民間)	VOC、重金属	施工済
大阪市(民間)	VOC、重金属	施工済
大阪市(民間)	重金属、油、産廃、汚泥	施工済
京都府(民間)	VOC(土壌・地下水)	施工済
大阪市(民間)	VOC、重金属、地下水	施工済
西宮市(民間)	VOC、重金属、ダイオキシン	施工済
兵庫県(民間)	化学物質、重金属、VOC	施工済
明石市(民間)	N-HEXAN	施工済
大阪市(民間)	N-H、重金属	施工済
堺市(民間)	N-H、重金属	施工済

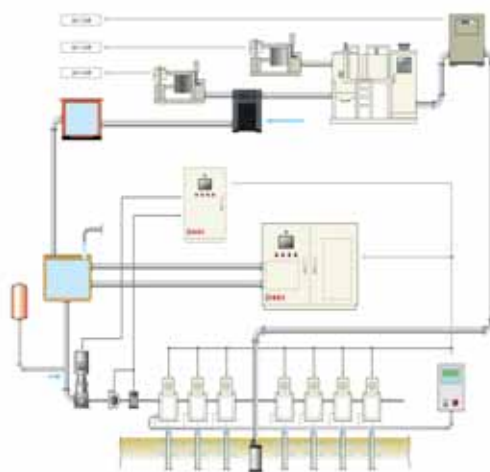


図 20. GALF 土壌浄化システム
ブロック図

土壌浄化に利用されてきたことがわかる。特に、**GALF** は微生物を利用して、この汚染土壌浄化に利用できる。微生物を土壌浄化に利用するのは**2**種類の方法がある。

1 つ目は、その土壌中に元来存在する微生物を活性化させる浄化方法であるスティミュレーションである。この方法は導入し易い反面、浄化に時間がかかるという側面を持っている。もう一つの方法は、その土壌中に存在しない有効菌を直接注入して浄化する方法で、オーグメンテーションと呼ばれ、即効性もあり、高濃度の対応も可能である。上記いずれの方法においても、土壌中の有害物質を好気性微生物が分解するには、酸素濃度の安定は重要なファクターであることに着目し、図 20 のブロック図に示すような **GALF** を用いた自動制御システムの開発を進めている。

表 4 に土壌浄化の具体例を示したように、この分野は今後とも社会ニーズとしての必要性が高まる流れにあり、今後、更なる応用を図っていく計画である。

3.5 生物多様性への対応

地球環境保護により生物多様性の維持を図ると共に、生態系と自然資源の持続可能な利用に関する取り組みや、細菌に対する超微細気泡の効果も脚光を浴びている [20-22]。ここでは、**GALF** の生物に対する効果の一例を示す。

GALF は、人間に身近なペットの犬の浴槽にも「ドッグバス」として応用されており、**GALF** で超微細気泡を発生させ、そのお湯でペットに入浴させる装置であり、図 21 に外観写真を、また、実際の使用の様子を図 22 に示す。

ペットサロンや動物病院にて既に数多く利用されており、超微細気泡がペットの毛穴近くまで浸透し、シャンプーを利用せずに皮脂や埃汚れが落ちることが確認されている。その結果、ペットの体毛はフワフワになり、トリマー作業が非常に効率的で、特に、シャンプーが使えないアトピー等の皮膚が敏感なペットは、お湯だけの入浴が可能で、治療との併用で非常に効果を上げている[15]。



図 21. ペット入浴用
超微細気泡発生装置

ペットサロンや動物病院から寄せられる声として、被毛に着いた脂汚れを落とすのに多くの時間とシャンプーが従来必要であったが、超微細気泡で入浴後は汚れ落ちが格段に良く、シャンプーの使用量も減らせるため、ペットにやさしい入浴ケア方法として、皮膚病治療の補助療法として広く利用することを勧めているとのことである。

以下に、実際に動物病院での GALF 活用事例と効果を紹介する。

(1) 重度のマラセチア性皮膚炎

内服薬の投与等していたが、どうしても薬を飲ませることが大変ということで、超微細気泡とインタードックの注射（2週に1回）を併用した。図 23 に示すように、以前よりも皮膚の赤みは改善し、皮膚から発する嫌なニオイも軽減した。

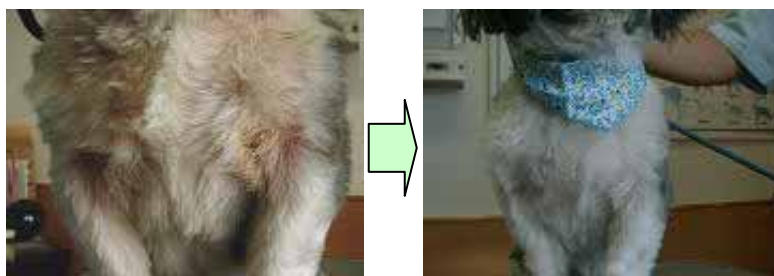


図 23. 重度のマラセチア性皮膚炎

(2) 細菌性の皮膚炎

炎症が局所的であったため GALF と、その後にクロルヘキシジンのシャンプーを併用した。超微細気泡ではカサブタはこすらずに取れるため、図 24 のように皮膚を傷めず、痛みも伴わず、症状がひどい時でも安心して入浴をさせることができる。

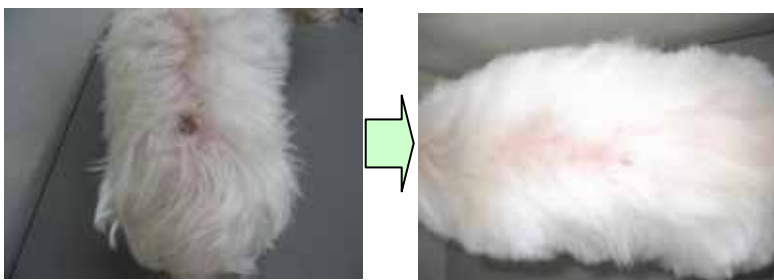


図 24. 細菌性の皮膚炎

(3) アレルギー性皮膚炎・細菌性皮膚炎

痒みがひどく、脱毛も見られたが、GALF による超微細気泡を週一回、抗生物質、抗ヒスタミン剤による治療により、図 25 のように皮膚はきれいになり、発毛も見られるようになった。

以前は少なかったアトピー性皮膚炎などを発症するペットも、近年増加してきており、この分野での超微細気泡の応用例はまだまだ広がるものと考えられる。



図 25. アレルギー性皮膚炎・細菌性皮膚炎

4. まとめ

ここでは、GALF の超微細気泡発生に関する基本的な原理や特徴、そして実際に 200 件を超える装置を適用した環境分野アプリケーションについての事例を報告した。稚拙な表現も多く、紙数の制限から、わかりにくい点はご容赦いただきたい。

ただ、ここで IDEC が推進してきた超微細気泡の将来展望に対する「想い」を是非伝えたいと考えている。超微細気泡発生技術は、寺坂や高橋との私信によれば、日本生まれの日本が誇るべき技術であるとのことである。そうであるならば、これだけ地球環境問題がクローズアップされる中、



図 22. ペットの入浴の様子

日本混相流学会が今後も産官学連携の要として、技術の研究開発や、その事業インキュベーションを推進されることを大いに期待している。とりわけ、今後は、機器メーカ、装置メーカ、プラントメーカ、そしてプラントユーザが一同団結して、日本発の固有事業として超微細気泡発生技術を「グリーンイノベーション」の中核の一つとして、一翼を担っていきけるのではないかと考えている。そのためにも、多くの企業、大学、そして研究機関が有機的に連携し、計測方法やアプリケーション等、日本が国際標準化をリードすることも視野に入れ、活動することも重要であろうと思われる。

また、アプリケーションはここで記載した分野以上に広がってきていることから、IDEC 単独では展開を図ることはもちろん不可能である。そのため、本稿を読まれた方々からのなお一層のご指導ご鞭撻を戴くことを切望しており、また様々な分野での幅広い協業を期待している。

引用文献

- [1] 町谷勝幸、平沢公雄、堀登紀男、柏雅一、機放水の生成と利用 ―GALF(気泡の研究)について―、IDEC REVIEW p.8 - p18 (1993)
- [2] 堀登紀男、柏雅一、平沢公雄、町谷勝幸、加圧浮上分離への GALF システムの適用について、IDEC REVIEW p.11 - p17 (1994)
- [3] 中山正明、町谷勝幸、森田規矩士、画像処理を用いた微細気泡の定量計測、IDEC REVIEW p.42- p53 (1996)
- [4] 和泉電気株式会社、加圧浮上分離に应用する気泡水製造装置(日本機械工業連合会)、優秀省エネルギー機器表彰制度による優秀省エネルギー機器 Vol.1995,12-15
- [5] 柏雅一、中山正明、町谷勝幸、加圧管路方式による微細気泡の生成、日本機械学会関西支部定時総会講演会講演論文集 Vol.72nd,4.9-4.10 (1997)
- [6] 中山正明他、画像処理による微細気泡の定量計測、日本機械学会創立 100 周年記念北陸信越支部記念式典・講演会・公開シンポジウム講演論文集 p.237-238 (1997)
- [7] 和泉電気株式会社、加圧浮上分離に应用する気泡水製造装置、省エネルギーVol.48, No.9,30-31 (1996)
- [8] 初田導弘、食品工場における加圧浮上分離による排水処理、食品工業 Vol.40, No.10, p 57 – 63, (1997)
- [9] 中林和重、布施康宏、平沢公雄、町谷勝幸、メロンの養液栽培における気泡水栽培システム(GALF)と従来型水耕栽培システムとの比較、日本土壌肥料学会講演要旨集 Vol.44, p. 299(1998)
- [10] 中林和重、田中剛毅、平沢公雄、養液栽培における気泡水の利用がトマトの地下部および生育に及ぼす影響、日本農業気象学会全国大会に本生物環境調節学会大会合同大会講演要旨 Vol. 1998, p.452 – 453 (1998)
- [11] 太田実、阿部晋也、橘武史、柏雅一、微細気泡混入による燃料の噴霧特性への効果、日本航空宇宙学会西部支部講演会 Vol. 1998, p. 34 – 37 (1998)
- [12] 中林和重、布施康宏、西山敏之、平沢公雄、泡沫耕、気泡水耕、サンゴ砂耕、および水耕栽培システムによるメロンの育成、植物工場学会誌、Vol.11, No.1, p 32 – 37 (1998)
- [13] 堀登紀男、木村春昭、初田導弘、藤本義彦、町谷勝幸、地球環境に配慮した小型水処理システム GALF BS シリーズの開発、IDEC REVIEW p. 125 - 131 (1999)
- [14] 田伏栄徳他、GALF (超微細気泡発生装置) 及び高演色 LED 照明を用いた制御システムによる植物工場ラボでのいちご栽培実証、日本生物環境工学会 2010 年大会要旨、p.74-75 (2010)
- [15] IDEC の HP 環境関連分野 http://www.idec.com/jpia/technology_solution/environment/index.html
- [16] 寺坂宏一、マイクロバブルの科学工業への応用、日本混相流学会第 35 回マイクロ・ナノバブルの特性とその応用、p.41-50 (2009)
- [17] Akimi Serizawa, et al, LAMINARIZATION OF MICRO-BUBBLE CONTAINING MILKY BUBBLE FLOW IN A PIPE, 3rd European-Japanese Two-Phase Flow Group Meeting, (2003)
- [18] 竹村文男・松本洋一郎、特開 2003-230824 (2003)
- [19] 大成博文、マイクロバブルのすべて、p144-164、日本実業出版社 (2006)
- [20] 氷室昭三、マイクロバブル水溶液の物性とその新しい用途展開、日本混相流学会第 35 回マイクロ・ナノバブルの特性とその応用、p.36-39 (2009)
- [21] 高橋正好、マイクロバブルの物性科学的特徴と工学的応用、日本混相流学会第 35 回マイクロ・ナノバブルの特性とその応用、p.51-65 (2009)
- [22] 南川久人、マイクロバブルの大深度をもつ水域の水質浄化と流体計測への応用、日本混相流学会第 35 回マイクロ・ナノバブルの特性とその応用、p.3-18 (2009)
- [23] 金子曉子、松本洋一郎、高木周、マイクロバブルの物理と様々な応用例、日本混相流学会第 35 回マイクロ・ナノバブルの特性とその応用、p.19-29 (2009)
- [24] 株式会社エクサ、株式会社渡辺商工、太陽電池用ウェハー洗浄システム カタログ (2010 年)
- [25] 阿波加和孝他、植物栽培における高演色白色 LED 照明の導入効果と植物工場への展開、日本生物環境工学会 2010 年大会要旨 p.72-73 (2010)
- [26] 前田重雄他、走査型 3 波長レーザ照明の植物工場への応用、日本生物環境工学会 2010 年大会要旨 p.68-69 (2010)
- [27] 森島義広、八巻淳、改正土壌汚染対策法と土地取引、p.122-151、東洋経済新報社 (2009)