

# ウルトラファインバブルの応用展開に向けての制御技術やシステム化技術の重要性

Importance of control and system technologies of the generator for ultrafine bubble applications

柏雅一(IDECC), 前田重雄(IDECC), 井田勝久(IDECC), 小林秀彰(IDECC), 西原一寛(IDECC), 藤田俊弘(IDECC)

KASHIWA Masakazu, MAEDA Shigeo, IDA Katsuhisa, KOBAYASHI Hideaki, NISHIHARA Ikkan, FUJITA Toshihiro

**Abstract** It is essential to control the whole system consisting of many devices by software based on information from each of the various sensors in addition to the control of individual devices such as a pump or decompressor to consistently generate ultrafine bubbles. The ultrafineGaLF bubble generator is able to handle the external information described above and control the whole system. System technology developed for agricultural applications was effective for the improvement of vegetable growth rate with to suppress the water temperature rise during UFB generation. Furthermore, DO and pH levels can be independently controlled for each application by adjusting the gas flow rates.

**Keywords:** Ultrafine bubble, ultrafineGaLF, Control technology, System technology, Application system

## 1. 緒言

昨今、直径が 1 μm 未満のウルトラファインバブル (UFB) が注目されており、数ヶ月経過しても残存する性質や水に溶解しにくい気体を水中に閉じ込める効果などの UFB の特性を活かして幅広い分野での応用が期待されている[1][2]. 洗浄分野に関してはガラス基板上の無機塩結晶の除去の研究[3]や高速道路に散布された凍結防止剤やトイレの洗浄[4]においても UFB の導入が進められている. また野菜の洗浄に関しては、UFB を含有した水を用いることで洗浄効率が向上する例[5][6]や生姜などの野菜の洗浄に関する研究[7]など多くの事例が報告されている. また農業分野においてはレタスの成長促進効果の確認[8], イチゴ栽培への適用[9]などが進められている. 今後、UFB の特性を活かして食品、化粧品、薬品、医療、半導体や植物育成、水産業など、幅広い分野での応用を展開するためには UFB を安定的に生成するとともに、それぞれのアプリケーションに応じた外部情報を発生装置が取り込んで、状況に応じた UFB を生成する機能が必要とされる.

## 2. UFB 生成システム制御技術

UFB 生成方法としては Fig. 1 に示す方法があり、それぞれの方法について UFB 生成実験を行った. Fig. 1 の I に示す減圧器を用いてバブルを生成する場合には、圧送用のポンプとの組み合わせが重要である. UFB の生成量はポンプ性能である液流量、圧力に依存、これらの変動により UFB 生成量も変化する. また減圧器はガスを吸引することができないものが多く、窒素や二酸化炭素などの任意のガスの UFB を生成するためには、Fig. 1 の II に示すように気液混合器との組み合わせが必要である. しかしながら気液混合器も液流量、圧力に依存するため、気液混合器と減圧器を組み合わせた場合、UFB 生成量はさらにポンプ性能に依存する. 当社がこれまでに開発した UFB 生成システム (ultrafineGaLF : FZ1N-02) は Fig. 1 の III に示すように気液混合器、気液溶解部、減圧器および圧送用のポンプを備えているとともに、装置内の圧力情報をモニタリングすることが可能であり、モニタリングに応じて手動調整することで安定して UFB を生成することができる装置となってい

方式	構成	ガス導入	自動制御	外部情報の取込み	特徴	UFB生成の再現性
I 減圧器単独方式		×	×	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>UFB生成はポンプの性能に依存</li> <li>ポンプは既設置品を使用するが多い</li> <li>任意気体の導入不可</li> </ul>	×
II 気液混合器付き減圧器方式		○	×	×	<ul style="list-style-type: none"> <li>UFB生成はポンプの性能に依存</li> <li>ポンプは既設置品を使用するが多い</li> </ul>	×
III GaLF方式 (ultrafineGaLF: FZ1N-02)		○	△	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>加圧溶解あり</li> <li>センサによるモニタリング機能あり</li> <li>一部パラメータを手動で調整する必要あり</li> </ul>	○
IV GaLF方式 (ultrafineGaLF: FZ1N-10)		○	○	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>加圧溶解あり</li> <li>センサ情報にもとづいた自動制御機能により手動調整不要</li> </ul>	◎

Fig. 1 Comparison of the bubble generation method by the different combination.

る。このような観点から発生装置内のセンサ情報にもとづき、PLCによりインバーターや比例制御弁を的確に制御することで、Fig. 1のIVに示すように自動制御を実現したUFB生成システム (ultrafineGaLF:FZ1N-10)を開発した。自動制御機能を用いた場合にはFig. 2に示すように手動での圧力調整が不要となりより連続して安定的にUFBを生成することが可能である。

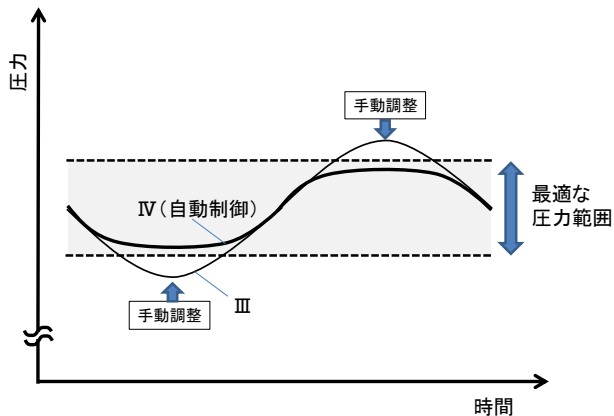


Fig. 2 Schematic view of the pressure control by the different method (III and IV in Fig. 1).

### 3. UFB 応用システム制御技術

各種アプリケーションで要求される最適な UFB を安定的に生成するためには気液混合器、気液溶解部、減圧器等の個別デバイスの制御技術に加えて、外部情報をモニタリングするための各種センサから得られる情報を元にして、個別デバイスをトータルで制御するためのソフトウェアによるシステム化技術が不可欠である。このUFB 応用システムを Fig. 3 に示す。基本となる UFB 生成部に制御部分を含めた UFB 生成システム、さらにアプリケーションに応じた外部情報を取り込んでシステム全体を制御する UFB 応用システムとして構成される。UFB 生成装置である ultrafineGaLF は上記のような制御管理システムと連携することでシステム制御することができる構造となっている。

一例として農業応用における UFB 応用システムの例を Fig. 4 に示す。システム化技術により UFB 生成時の水温上昇を抑制するとともに野菜の生育促進効果を確認している。またガス流量を調整することで各用途に応じた効率よく DO, pHなどを自在に制御することが可能である。

今後 UFB の適用が期待される水産業応用においても、各種ガスを切り替えることで魚介類に最適な環境を提供することが可能となっている。

### 4. 結言

UFB 生成量がポンプの圧力や流量に依存するノズル単体からなる発生器は UFB を安定的に生成することが難しい。このため UFB を安定的に生成するためには、圧送ポンプ、気液混合部、気液溶解部、減圧器を含めたトータルの制御技術が必要である。また様々な応用分野へ UFB 技術を適用するためには UFB を安定的に生成するとともに、それぞれのアプリケーションに応じた外部情報を発生装置が取り込んで、状況に応じた UFB を生成する機能が重要である。

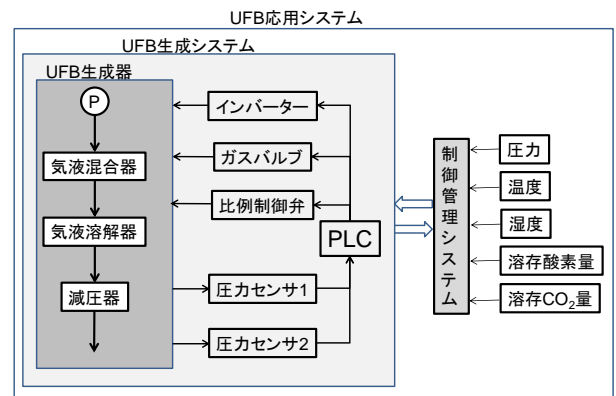


Fig. 3 Block diagram of UFB generator, UFB generation system and UFB application System.

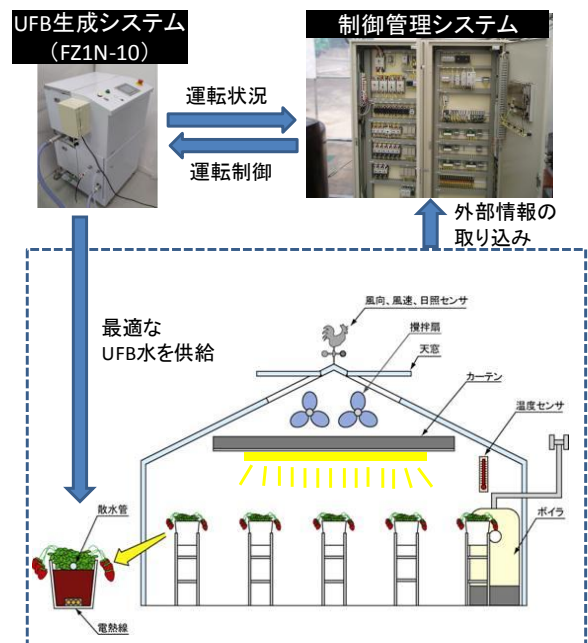


Fig. 4 An example of the application system in the field of agriculture.

### 参考文献

- [1] 柏雅一ほか, 日本混相流学会年会講演会 2012 講演論文集, pp. 180-181 (2012).
- [2] 小林秀彰ほか, 混相流シンポジウム 2014 講演論文集, D132 (2014).
- [3] 川原垣昌利ほか, 日本混相流学会年会講演会 2012 講演論文集, pp. 184-185 (2012).
- [4] 角田直行, 1st International Symposium of Fine Bubbles 講演要旨集 (2012).
- [5] 小山貴裕ほか, 混相流シンポジウム 2014 講演論文集, D131 (2014).
- [6] 榎本直之ほか, 混相流シンポジウム 2015 講演論文集, E125 (2015).
- [7] 秦隆志, 情報機構編, マイクロバブル (ファインバブル)のメカニズム・特性制御と実際応用のポイント, pp. 52-59 (2014).
- [8] 阿波加和孝ほか, 日本混相流学会年会講演会 2012 講演論文集, pp. 182-183 (2012).
- [9] 田伏栄徳ほか, 田伏栄徳他, 日本生物環境工学会 2010 年京都大会, 講演要旨, pp.74-75, Sep.8-10(2010)