



ビール品質改善！ 環境にもやさしい 窒素ガス混合機と関連技術

text: 渡邊拓也
きた産業株式会社



1. 泡はビールの重要な「品質」

※樽生ビールは泡が命！

※ビールの泡は
「泡立ち」と
「泡持ち」で
決まる。



1.1 泡立ち



- ◆ビール中に溶解しているガスが、グラスに注がれることで気泡となり浮上
- ◆口当たり、爽快感、風味等
- ◆基本的には溶解しているガスの絶対量が問題
- ◆環境（温度と圧力）の変化や物理的衝撃も大きく影響



1.2 泡持ち



- ◆液面に浮上した気泡が集まり、層を成した状態で保持
- ◆口当たり、酸化・ガス抜け抑制、外観の美しさ等
- ◆グラスの油汚れや洗剤残りも影響するが、ビールの成分（ガスも含めて）によって差異



1.3 ビールの泡と シャンパンの泡



●ビール泡（バブル）のほうがゆっくり上昇する→通常のビールとシャンパンは液体の粘性はほとんど変わらないが、ビールは含まれる界面活性剤（たんぱく質など）の量が多い。泡の表面に界面活性剤がつくと、液中を上昇するスピードが半減する

→シャンパンの泡は液面ではじける！

●シャンパンの泡（バブル）は線上に長く継続して出る→グラス内部の傷からできるわけではなく、ゴミ（多くの場合、中空のセルロース繊維）から出ている。継続するのは絶対的な炭酸ガス含有量の差。一方ビールは、泡（フォーム）ヘッドが長く継続するが、これは泡タンパクなど化学的物性の差による。



Beer ← → Champagne

1.4 下向きに降りる泡もある



- ギネスのカスケード現象
→炭酸ガスが少ないので泡が成長せず小さいまま。したがって上昇スピードがより遅い。スタウトは粘性が高い。壁面の影響をうけない中央部で上昇流が起こり、それが壁面に沿って下降流を発生させる。コンピュータシミュレーションでは直径0.06mm以下の泡ならカスケードが起きる。



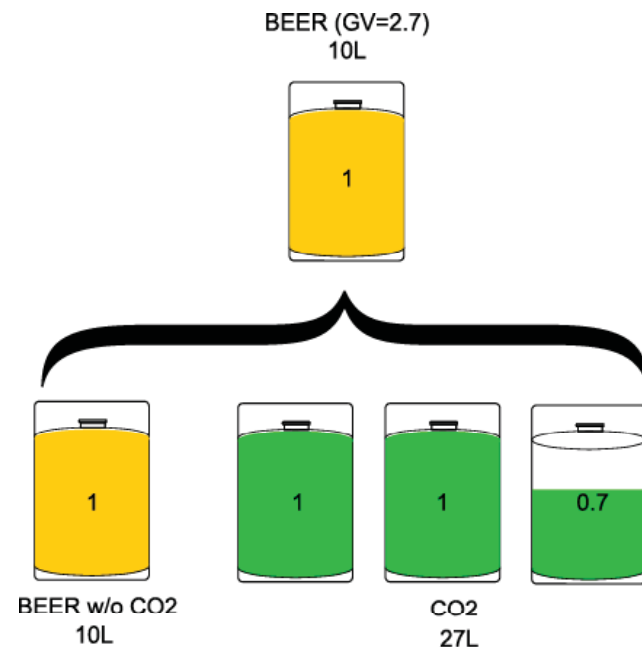
Fluent Asia Pacific社（現Ansys Japan社）ウェブサイトの資料から

2. 泡とガスの関係



2.1 ガスボリューム (GV) とは

- ◆ビール中にそのビールの何倍の容積のCO₂が溶けているか
(右図では、ガスボリューム2.7の樽生ビールがガスなしビール1と、その2.7倍の体積のCO₂に分けられることを示している。)
- ◆ビールメーカーにとっては重要な品質管理指標の一つ
- ◆CO₂は1リットル当たり約1.97 gなので、この場合のCO₂の溶解量としては約5.3g/L、あるいは0.53%(w/w)
(ビールの比重を1とすると)と表現することもできる。

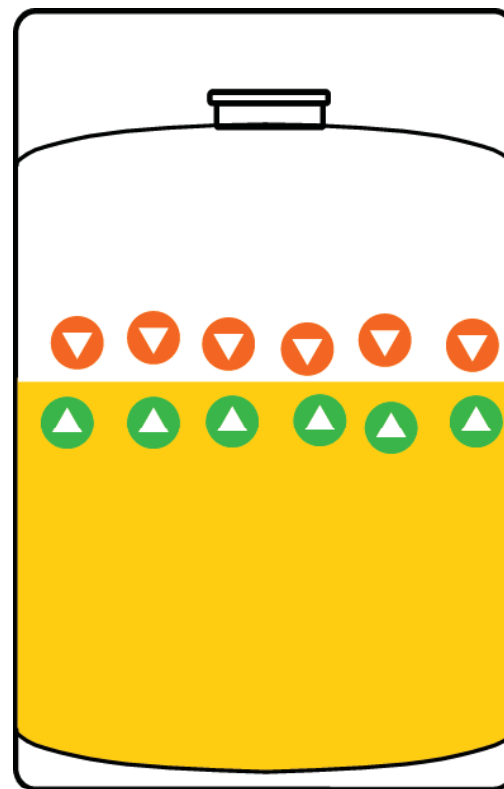


2.2 均衡状態、温度、圧力



- 「均衡状態」とは、ビールから出ていくガスの量と、ビールに溶解込むガスの量が釣り合った状態

- あるガスボリュームの均衡状態を得るためには、温度と圧力がそれにふさわしい条件にある必要がある。





つまり、
たとえば、 $3^{\circ}\text{C} \cdot 0.08\text{MPa}$ でちょうど良いガスボリュームとなるよう造られたビールの場合・・・



$3^{\circ}\text{C} \cdot 0.06\text{MPa}$



$3^{\circ}\text{C} \cdot 0.08\text{MPa}$



$3^{\circ}\text{C} \cdot 0.10\text{MPa}$

保管温度が同じならば、ビールにかけておく圧力が低ければビール中のガスは抜けてしまい（泡が立たない）、逆に高ければガスが過剰になってしまう（泡が立ち過ぎる）。

2.3 ビールの泡の発生から消滅まで



泡の発生

- ビール樽内：（例）約5℃で2.74GVの炭酸ガスが溶解していた（この状態で均衡状態）。
- グラスに注ぐ：ビールが大気圧下（圧力計では0MPa）に置かれ空気を巻き込む。
 - ▶ その結果、炭酸ガスの均衡状態が崩れ（大気圧下としてはビール液中に過剰の炭酸ガスが溶けている）、泡を発生させることにより均衡状態へと進行
 - ▶ 大気圧でのビールの炭酸ガス溶解量は、大気が仮に炭酸ガス100%で構成されているとすると、5℃で約1.42GV溶解するが、大気中の炭酸ガスは容積でわずか0.03%（窒素78%、酸素21%、他）のため、実際の炭酸ガスは 1.42×0.0003 気圧（炭酸ガスの分圧） $= 0.0004$ GVしか溶解しない。従って $2.74 - 0.0004 = 2.74$ GVの炭酸ガスが過剰となり、グラスに注ぐときに巻き込む空気の小さな泡などを「種」に炭酸ガスの泡が成長、発生する。



泡の成長、破裂、安定化



泡はビール中より次から次へと発生してくるが、逆に空気に接している大きな泡は次から次へと消滅。

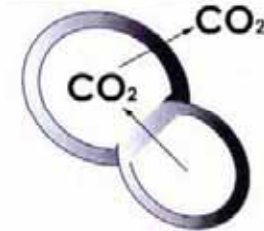
① 泡表面の液の流下による泡の破裂

図に示すように炭酸ガスを包む膜の液は重力により下方にたれてくる。その結果上部の液膜は薄くなり破れて消える。また、泡が集合している場合は、液が泡同士の接合部の方に流れ、非接合部（大気と接している部分）液膜は薄くなり破裂する。



② 泡中ガスの大気中や泡間の移動に伴う泡の縮小

泡中のガスは非常に濃度の高い炭酸ガスで構成されている。一方大気には炭酸ガスがほとんどなくかつ液膜は炭酸ガスをよく通す。それ故泡内の炭酸ガスは一方向的に大気中に拡散し、泡はどんどん小さくなって最後には無なる。また、泡が接している場合、泡内のガス圧は気泡径が小さいほど大きいので、径の小さい泡内ガスが大きい方に移り続け小さい泡は潰れ、大きい泡は破裂する。



どんな泡も上記の経緯をたどり最後は消滅。しかし形状が細かい多層の泡がビール液面を覆った状態は安定しており、液中からの泡の発生も若干押さえられビールとして望ましい状態。



ビールの泡持ち



ビールの泡は他の炭酸飲料と比べると非常に安定

▶主としてビール成分中の原料由来の泡タンパク（ポリペプチド）によるもので、泡内面の気・液界面には疎水部分を、また泡膜液中には親水部分を出して、泡の壁を形成し、安定化させているとされる。

▶泡持ちを良くする他の成分としては、ホップ由来苦味成分（イソフムロン）とか、 α -グルカン等が、また逆に泡持ちを悪くする成分としては脂質とか低分子窒素化合物などが報告されている。

さらに、窒素ガスを含んだ泡は、泡持ちに非常に優れる！

2.4 窒素ガス入りビール (Nitrogenated Beer) の場合



窒素ガス (N₂) は、



無味・無臭の不活性ガス



比較的容易に大気から分離可能 (大気中の約78%)



酸素のようにビールの味や香りに影響しない



炭酸ガスと比べてビールに極めて溶けにくい



一旦溶けると、10~60ppm程度でビールの泡の動向に大きな影響！



窒素ガス入りビールの特徴



- ◆ 通常のビールと異なり、泡がクリームのように大変きめ細かい。
- ◆ 通常のビールと違って泡が極めて長持ちする（場合によっては30分以上も！）。
- ◆ このビールを注いだ直後は「カスケード（滝）」と称して「泡が下に落ちていく」という非常に面白いシーンが見られる。
- ◆ 泡持ちがよいにもかかわらず炭酸ガスボリュームは低いので、おなかがいっぱいにならずにたくさん飲める。
- ◆ 刺激的なフレーバーやBU（苦味）を感覚的に緩和する働きがあるといわれていて、苦いビール（ポーターやスタウト）に適している
- ◆ 窒素を混入することで、ビールの味の品質保持期間が延びるという研究発表が多くなされている。また、泡の品質保持期間延長（例えば、樽詰めしたビールを1ヶ月経過後に飲む時の泡の出方が樽詰め直後の泡と比べてどの程度劣るか。同じような泡が出る方が好ましい）にも有効であるとの研究報告もある。

スタウトやポーターに特有の「カスケード現象」は、窒素ガスにより泡が小さくなるのが非常に大きな要因！



窒素ガスの泡は、炭酸ガスの泡に比べて極めて長持ち！

	Stout	Ale	Lager
Carbon Dioxide g/l	2.1	2.2	5.0
Nitrogen ppm	51	50	0
Serving Temperature °C	5 - 8	5 - 8	5 - 8
Head Size mm	14 - 21	14 - 21	10 - 15

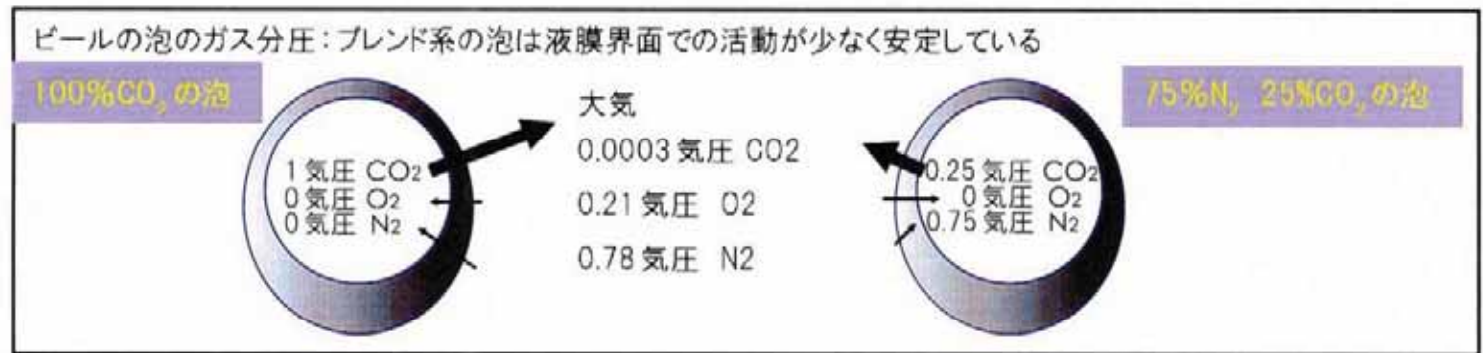
典型的ナイトロミックスビールの炭酸ガスと窒素ガスの含有量

アサヒビールの「プライムタイム」の原材料表示には「窒素」が！





窒素入りビールの泡と炭酸ガスのみビールの泡とでは、泡液膜を通じたガスの動きが大きく異なる。



図右の窒素ガス入りでは炭酸ガスの分圧が小さいため、液膜を通しての外気へのガス散逸による縮小とか泡同士のガスの交換による肥大破裂または縮小という活動が遅延され、結果として泡が安定する。極端な場合として、泡内炭酸ガスがすべて大気中に散逸し、泡液膜の溶解、透過が非常に遅い窒素ガスのみが泡内に残ったとすると、この泡は長時間非常に安定したものとなる。

参考情報1：ウィジット (Widget)



ギネスドラウトに使用されているフローティングウィジェット。缶シーマー直前に液体窒素を滴下することでヘッドスペースとウィジェット内が加圧された状態になる。ウィジェットは液面に浮いた状態で小さな穴（写真ではわかりにくいですが上の矢印の部分。0.2mmの穴）は液面下に沈む設計。



2002年にギネスが上市した壺用のウィジェット。ややとがったほうが上になるように位置が決まっている。また、羽がついて壺口から出ないようにになっている。下は、さまざまなウィジェット。



参考情報2：家庭用サージャー



ギネスは、2006年からイギリス限定販売で「家庭用サージャー」、または「ウィジェットなしでウィジェットと同じ効果を出す器具」を販売している。グラスの下の黒い器具がそれ。ウィジェットなしで詰められたギネスビールはグラスに注いでも泡が立たない(左)。ところが、ボタンを押すと一瞬でグワッ！という感じで泡が出て(中)、しばし待つと程よいクリーミーな泡ヘッドができる(右)。

原理は超音波振動。
試しに普通のラガービールでやってみると、、、泡だらけ。



3. 樽生ビールとガスの関係



3.1 ガスの2つの役割

樽生ビールを押し出すガスには、次の2つの役割がある。



ビール中のガスの均衡状態を保持する



ビールを樽からグラスへ押し出す



もしビール中のガスの均衡状態を保持できなければ・・・



3°C・0.06MPa



3°C・0.08MPa

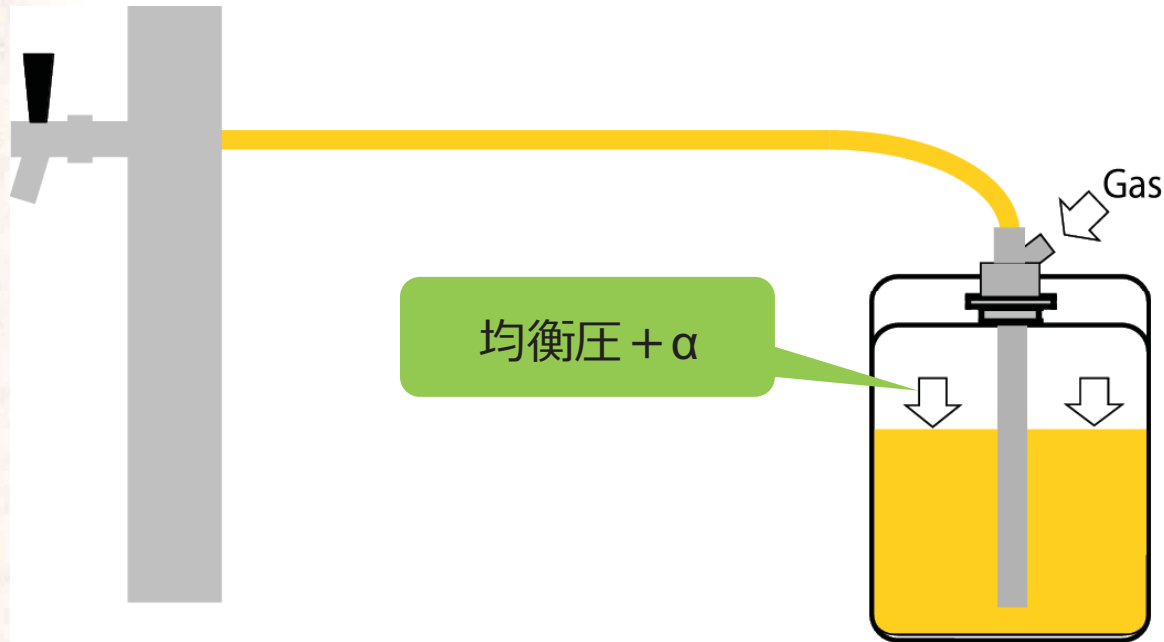


3°C・0.10MPa

- ▶ 均衡状態が崩れて、ビール内で泡が発生。
- ▶ 結果としてビールは泡だらけになる。圧力が低い場合には長期的にはビールは“ガス抜け”状態になるが、不均衡状態では泡が出ることに注意。



一方、樽からビールを適度な流速で押し出すためには、必ずいくらかの余分な圧力が必要になる（ビールホースやサーバーの配管の抵抗、樽からタップまでの高低差）



つまり、樽内のビールには、本来均衡状態を保持するのに必要な圧力以上の圧力が常に掛けられていることになる。

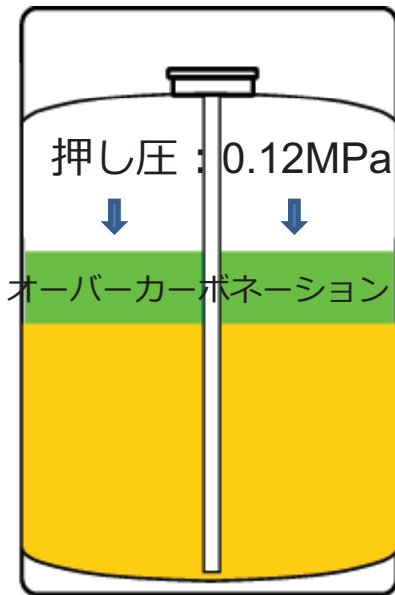


3.2 オーバーカーボネーション

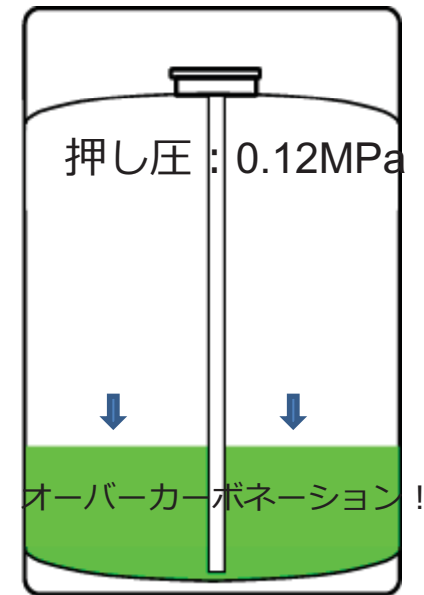
結果として、ビールに過剰なCO₂が溶解、
オーバーカーボネーション（過飽和）が発生！



開封時



2日目



3日目



オーバーカーボネーションによって、

◆良好な泡が得られない、味や飲み心地が変化



ビールの品質低下

◆ビールのロス増加、CO2使用量増加

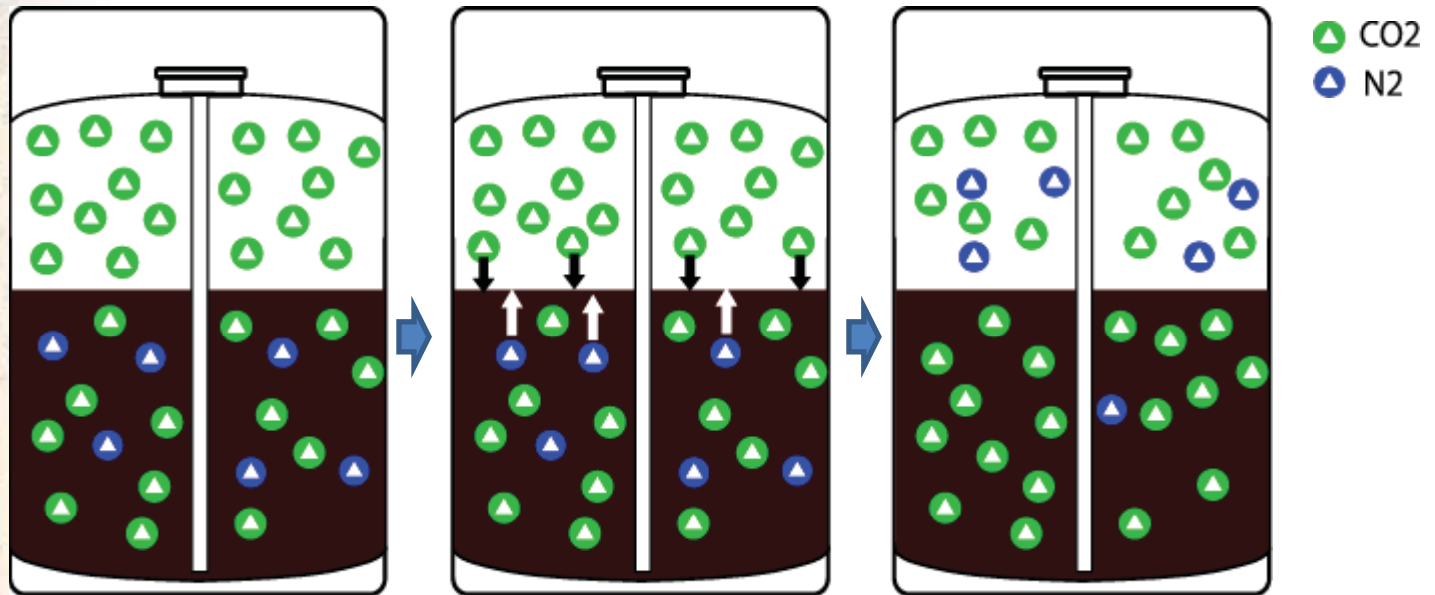


経済的損失
環境にも優しくない



3.3 窒素入りビールはようになる？

窒素ガス入りビールを100%の炭酸ガスで押すと・・・

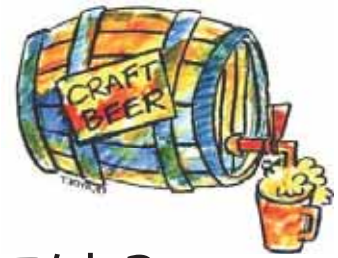


ビール中の窒素ガスは樽のヘッドスペースへ抜けていき、逆に炭酸ガスはビールに溶けていく。

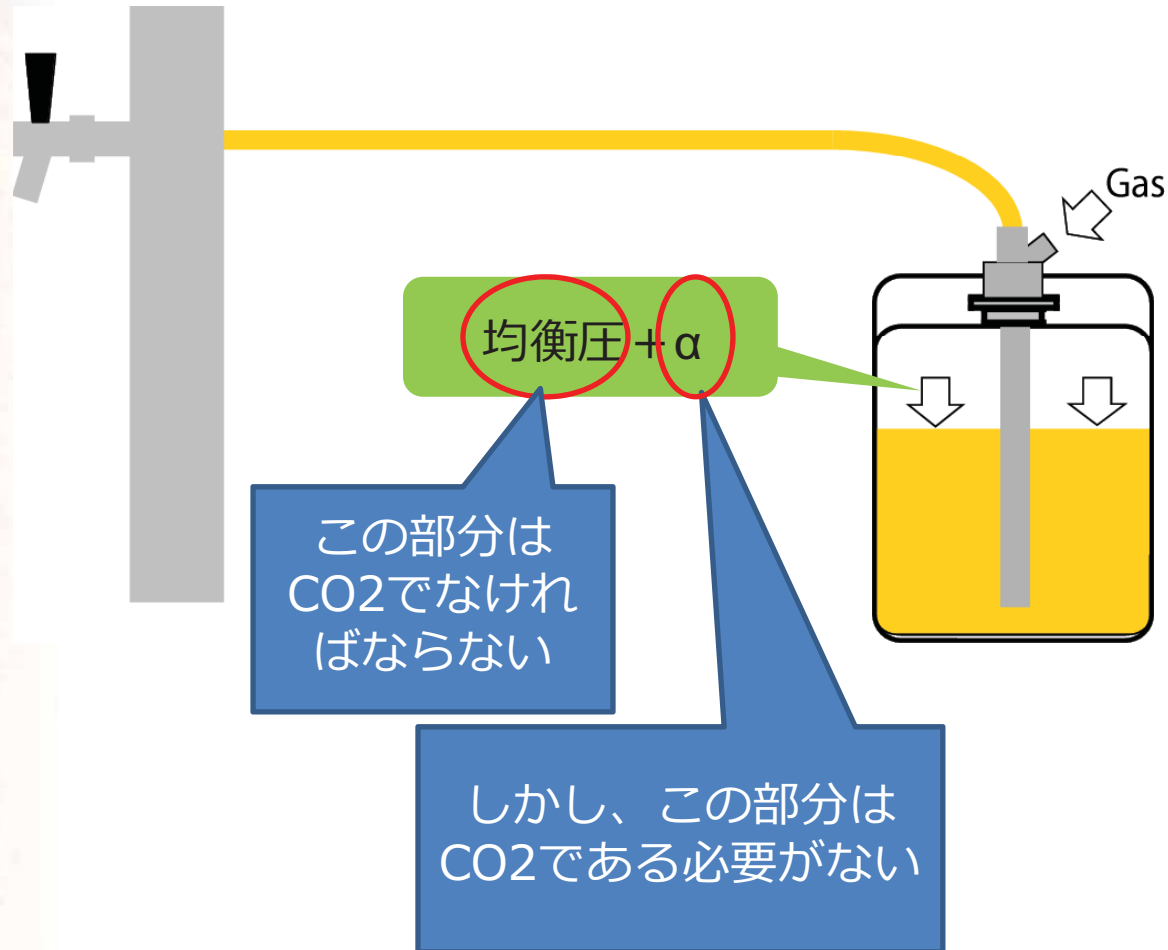


つまり、せっかく溶解させた窒素ガスの効果はなくなり、さらにオーバーカーボネーションが発生する。

4. 炭酸・窒素混合ガスを利用



4.1 オーバーカーボネーションを避けるには？

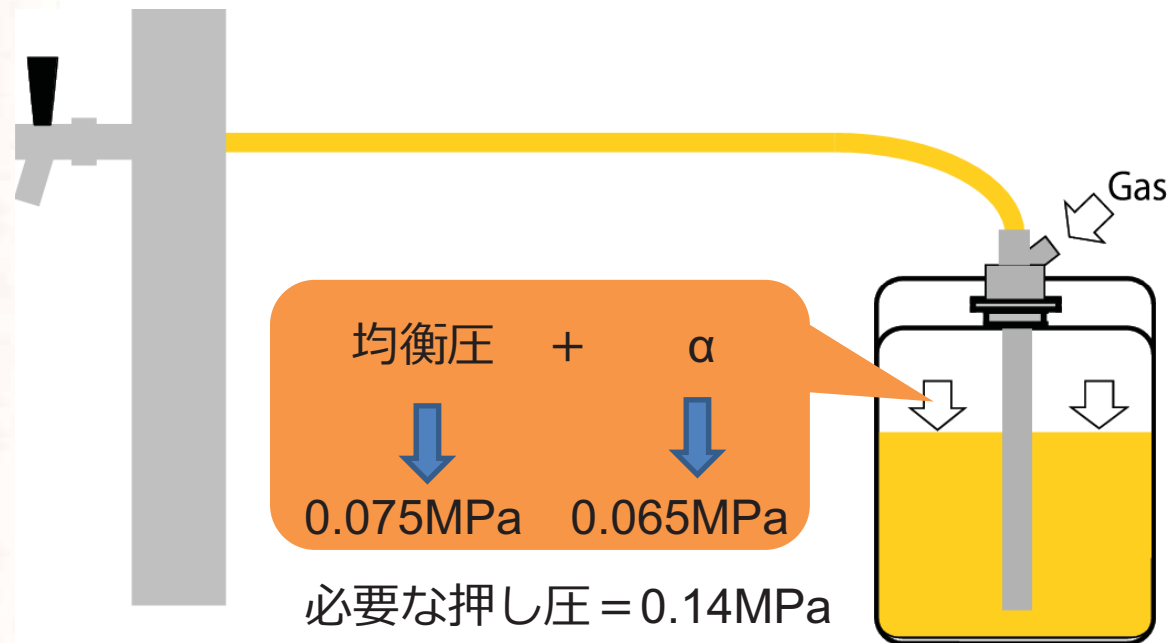




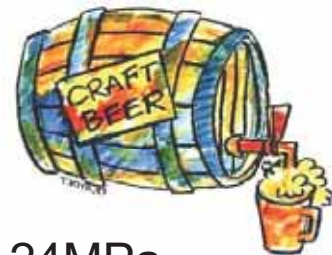
4.2 炭酸・窒素混合ガスなら解決

例えば、ビールの温度が 3.3°C 、GVが2.5の場合、
均衡圧は約 0.075MPa

このサーバーのビールチューブや配管、流量等の条件から、
 0.14MPa でビールを押し出すのが適当であるなら・・・



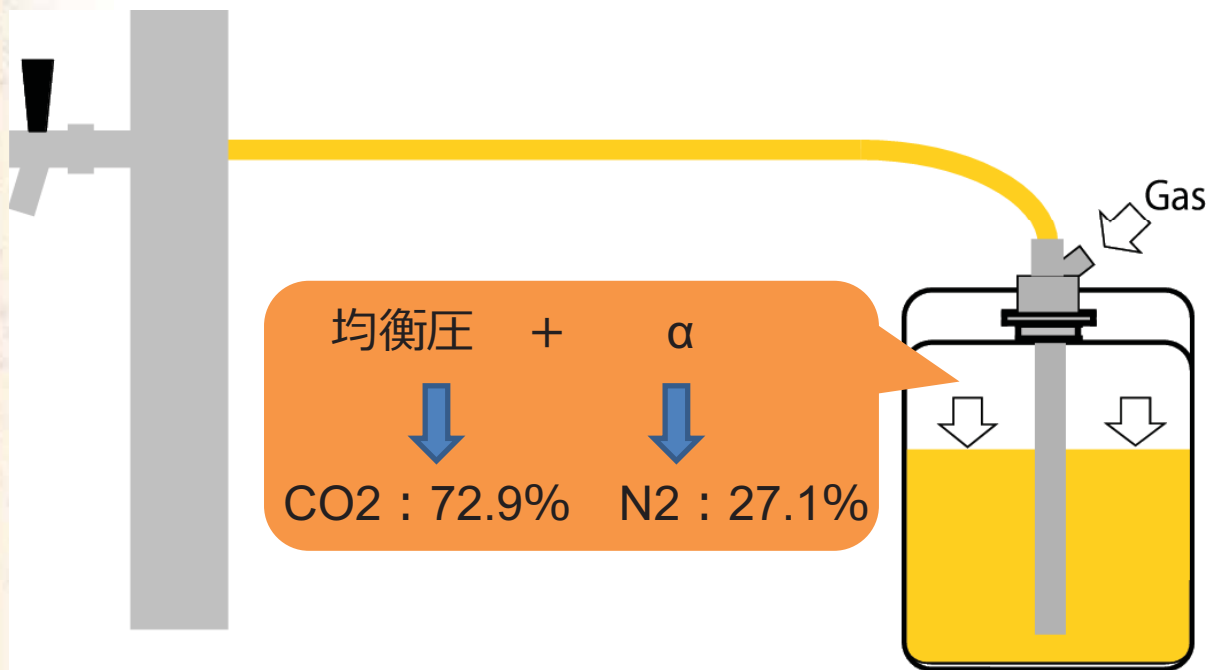
※上記圧力はすべてゲージ圧 = 絶対圧力と大気圧の差



- ◆必要な押し圧の絶対圧力（大気圧+ゲージ圧）は約0.24MPa
- ◆CO2の均衡状態に必要な絶対圧力は約0.175MPa



ビールを押し出すガスのうち必要なCO2の比率は、
 $0.175 \div 0.24 = 72.9\%$





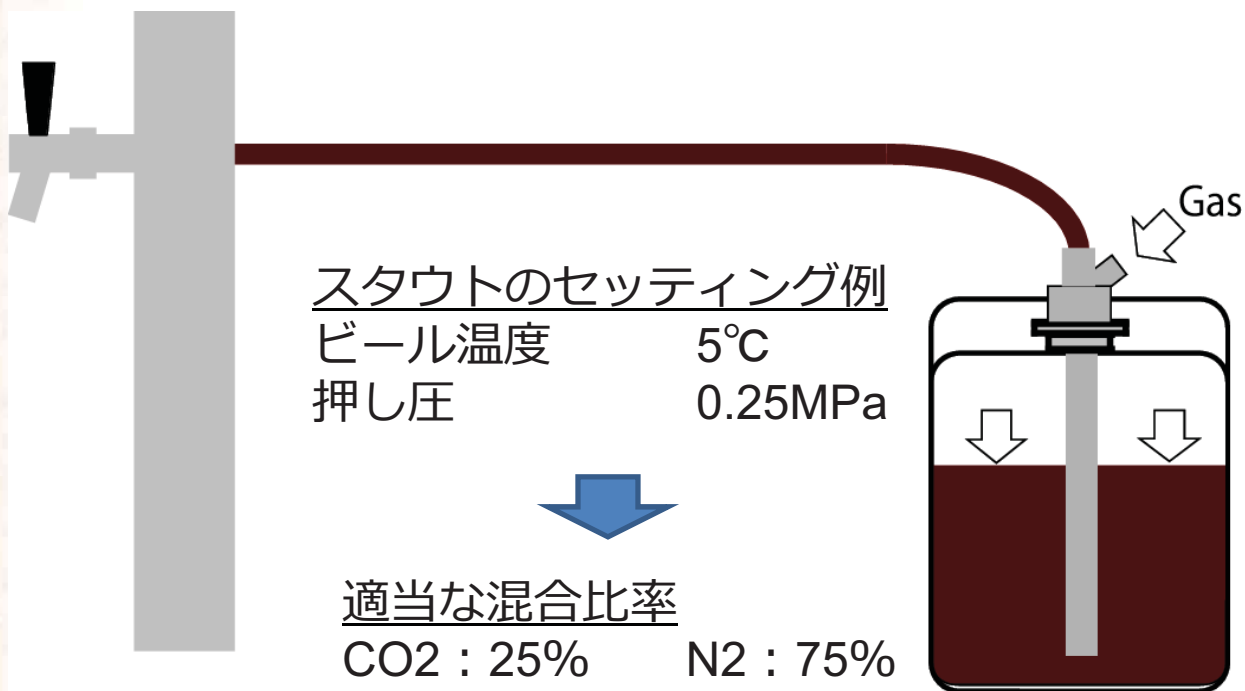
例：華氏38度（=摂氏約3.3度）で2.5GVのビールを20psi（=約0.14MPa）で押そうとする場合、「炭酸70%窒素30%」がよい。



4.3 窒素ガス入りビールの場合

窒素ガス入りビールではCO₂のGV = 1.2程度が普通
そのため均衡圧は大気圧未満

一方、きれいな泡を立たせるために、一般的なビールより
高圧でビールを押し出す必要がある。





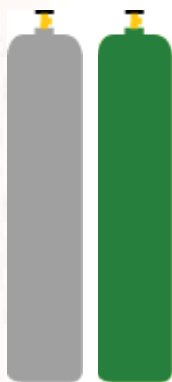
4.4 ガス混合機の利用

- 炭酸・窒素混合ガスは、市販の混合圧縮ガスを利用する方法と、ガス混合機でガス供給現場で混合する方法がある。



混合圧縮ガス

- 特に初期費用なしに利用可能
- ガス供給システムのセッティングが容易
- ▼ 複数の混合比率には複数のボンベが必要
- ▼ 比較的ガスが高価



炭酸ガス+窒素ガス+ガス混合機

- 通常の炭酸ガスと窒素ガスなので入手容易
- 混合ガスと比べて安価
- 混合機 1 台で複数の混合比率に対応可能
- ▼ 若干の初期費用が必要



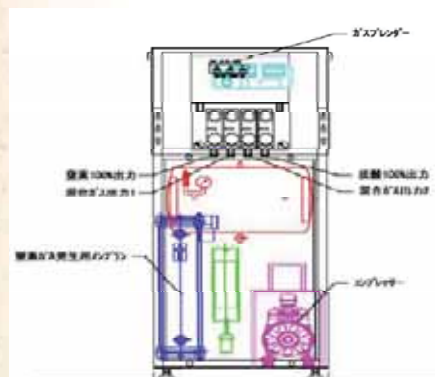
4.5 窒素ガス発生機の利用

- 窒素ガスは、市販の圧縮窒素ガスボンベを利用する方法と、窒素ガス発生機でガス供給現場で製造する方法がある。



圧縮窒素ガスボンベ

- 特に初期費用なしに利用可能
- スペースを取らない
- 電力や騒音の問題なし
- ▼ 使用量によっては頻繁に交換する必要あり



窒素ガス発生機

- 空気から製造→ガスコストが極めて安価
- ▼ 初期費用が必要
- ▼ 若干の設置スペースが必要
- ▼ 電力が必要
- ▼ コンプレッサーの音



4.6 ビールの保管温度の問題

- イギリスやアメリカでは、ビールを樽ごとサーブする温度に保った状態で保管・サーブすることが多い（空冷式）
- 日本では圧倒的に室温保管でビールサーバーを通す時にサーブ温度に冷却する方法（瞬冷式）が多い

◆一般論としては、ビールは冷蔵保管した方が品質上ベター

◆室温だと冷蔵と比べてより高い圧力が必要

→ CO2使用量も ↑

◆室温保管の場合でも窒素ガスビールには混合ガスが不可欠

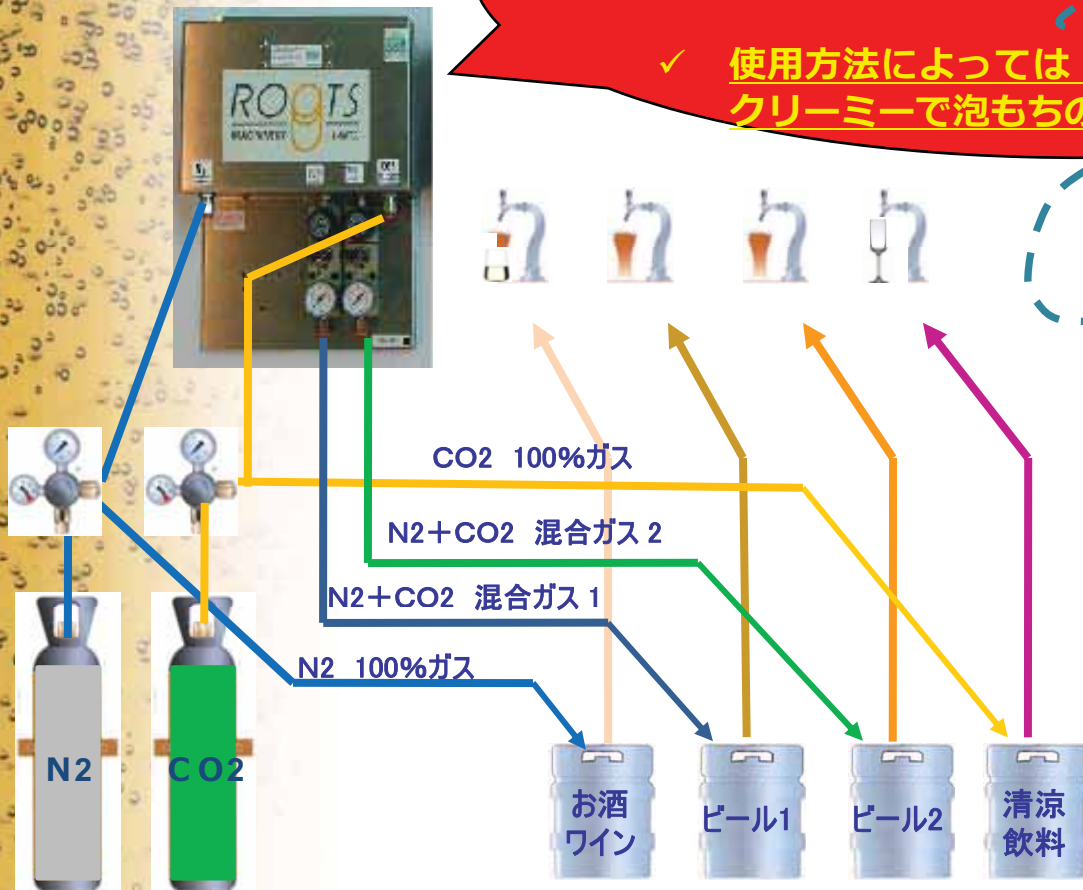
◆一般のビールであっても混合ガス利用のメリットあり

5.まとめ



樽生ビールへの炭酸・窒素混合ガスの利用で・・・

- ✓ オーバーカーボネーションが起こらず、適度な泡が作れる→樽生ビールの品質改善！
- ✓ ビールロスが減り、原価が改善！
- ✓ 温暖化要因である炭酸ガスの使用量を削減！
- ✓ 使用方法によっては「窒素ガス効果」により、クリーミーで泡もちのよい泡も



- ✓ ECOが求められる時代！
- ✓ 日本では、樽で供給されビール系飲料は数十万キロリットル(=数百万樽)、そのための炭酸ガスポンベは相当な量(百万本程度か？)。真剣に減らさねばならない！
- ✓ 世界では樽ビールが2,000万キロリットル程度と推定。
- ✓ イギリス、アメリカなどでは窒素ブレンドにシフトしている。

関連製品のご紹介1



ビールケグ第一公式 **「CO₂ + N₂ = 泡の改善 + ビールロス低減 + ECO」**



2種類ガス混合仕様

ROGTS
MACHINERY LABO

BSL
GAS TECHNOLOGIES

AGM300は、飲料・食品業界での昨年ご要望のガス混合器です。BSL 社独自のステンレス製焼結金属を利用した「容積混合方式」により、2種類のガス（例：N₂、CO₂）を立ち上がりから安定した比率で混合した。3種類のガス（例：O₂、CO₂、N₂）に対応するモデルもあります。適切な比率でガス混合が可能で、ステンレス製本体は衛生的でコンパクト、重量も不変で、工場内や研究棟での多様な用途への対応が可能です。

主な特徴

- ※ステンレス製コンパクトボディ
- ※混合比率は簡単にアジャスト可能
- ※一方のガス供給が止まると自動停止
- ※電解液は一切不要
- ※既定した混合山のロック機構付き

仕様

混合ガス数	2
混合比率	5%~95%
混合精度	±1%以内
流量	10~500 L/min
寸法	330 x 320 x 250 mm
重量	15 kg
最大圧力	~50 bar
最大混合圧	~2 bar
操作温度	-10~+50 °C

標準仕様

※AGM300は、飲料・食品業界での昨年ご要望のガス混合器です。BSL 社独自のステンレス製焼結金属を利用した「容積混合方式」により、2種類のガス（例：N₂、CO₂）を立ち上がりから安定した比率で混合した。3種類のガス（例：O₂、CO₂、N₂）に対応するモデルもあります。適切な比率でガス混合が可能で、ステンレス製本体は衛生的でコンパクト、重量も不変で、工場内や研究棟での多様な用途への対応が可能です。



AGM300は、飲料・食品業界での昨年ご要望のガス混合器です。BSL 社独自のステンレス製焼結金属を利用した「容積混合方式」により、2種類のガス（例：N₂、CO₂）を立ち上がりから安定した比率で混合した。3種類のガス（例：O₂、CO₂、N₂）に対応するモデルもあります。適切な比率でガス混合が可能で、ステンレス製本体は衛生的でコンパクト、重量も不変で、工場内や研究棟での多様な用途への対応が可能です。



混合比率固定型ガスブレンダー

ROGTS
MACHINERY LABO

BSL Gas Technologies Ltd. brochure: "Do you need mixed gas for your processes and do you need to change the mixture? BSL Gas Technologies Ltd offers a range of Adjustable Gas Mixers for two and three gases."

「ガスブレンダー」のご提案

- 日本で一般的に使用されている「流量混合式」ではなく、マイクロポーラスなステンレス焼結金属を利用した「容積混合方式」。ガスが流れ出す瞬間（立ち上がり）から正確な混合比率が得られます。
- 主にビールを押し出すのに利用する「混合比率固定型」は、欧米パブやブルワリーを中心に数万台の出荷実績をもちます。きた産業・ルーツ機械研究所は、ビールに対するガスの利用や影響に関して豊富な経験とノウハウがあります。
- 主に試験目的のための「混合比率可変型」「3ガス混合型」などのモデルもあります。また「食品保存用」「溶接ガス用」などビール以外の分野用もあります。

株式会社ルーツ機械研究所
ROOTS MACHINERY LABO, INC.

きた産業株式会社
KITA SANGYO CO., LTD.



GAS BLENDER ed.2 070530dtdk

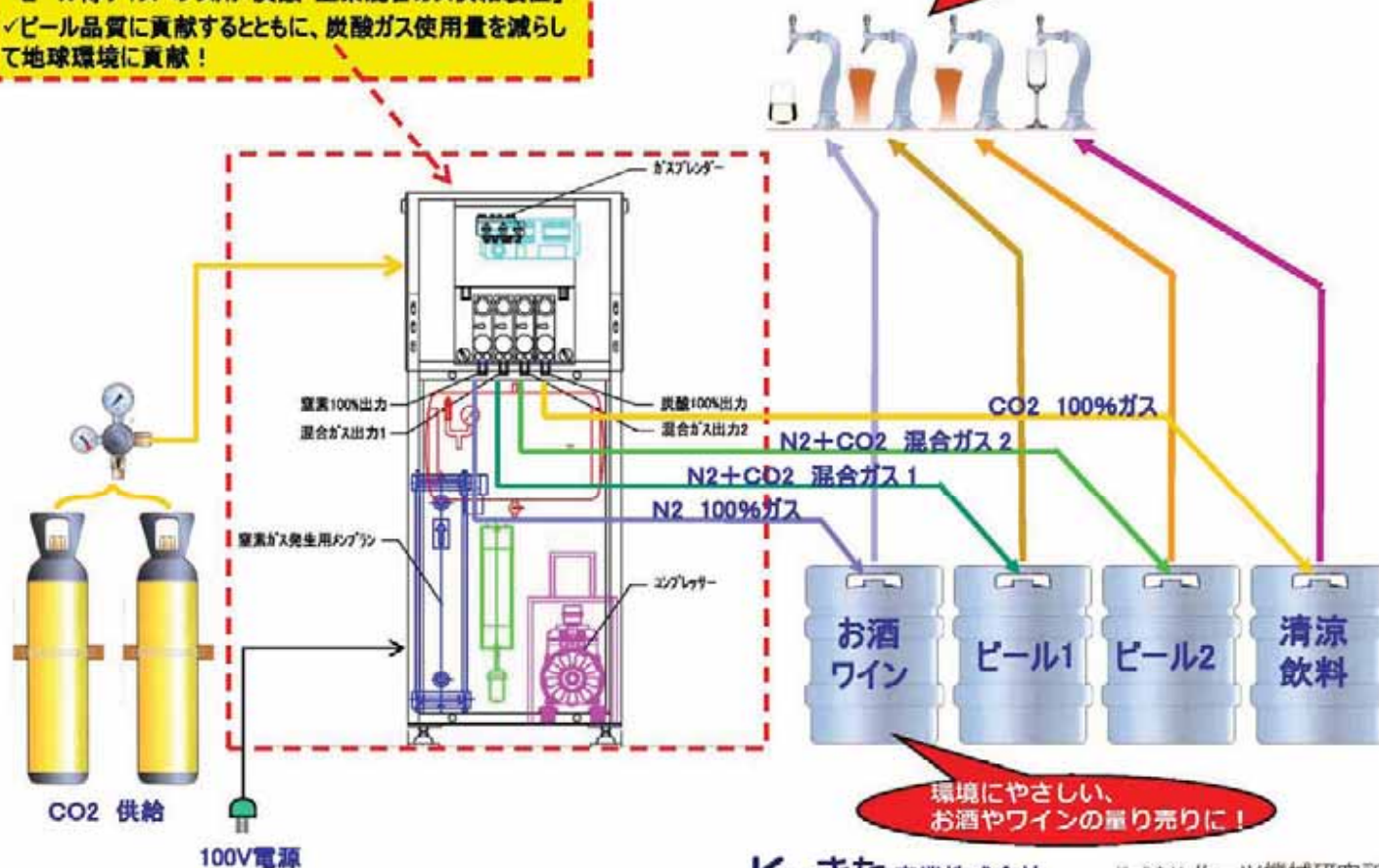
関連製品のご紹介 2



ECO₂ ROBO (エコ・ロボ)

- ✓ビール樽ディスペンス用「炭酸・窒素混合ガス供給装置」
- ✓ビール品質に貢献するとともに、炭酸ガス使用量を減らし地球環境に貢献！

「ビールケグの第一公式」
 $CO_2 + N_2 = \text{泡改善} + \text{ロス減少} + \text{ECO}$



環境にやさしい、
 お酒やワインの量り売りに！

KK きた産業株式会社
 KITA SANGYO CO., LTD.

株式会社 ルーツ機械研究所
 ROOTS MACHINERY LABO. INC.