

# ビールと 窒素ガス および、 炭酸・窒素混合ガス

text = 喜多常夫 / きた産業株式会社

Kita Sangyo Co., Ltd.  
The Specialist of    gas for beverage industry



CO<sub>2</sub>  
N<sub>2</sub>

## 解説項目

- 「均衡状態」の意味
  - 炭酸以外のガスの必要性
- 窒素ガス利用1：「混合ガスにしてビールを押す」
  - 泡安定、ビールロス低減、温暖化ガス削減
- 窒素ガス利用2：「原料として使用」
  - 日本の事例、ギネス、ウィジッド、LN2滴下
- 窒素のビールの泡への影響
  - 泡もち、窒素ガスと泡

- 窒素ガス：元素記号N。無色・無臭・無味の不活性ガス。空気中の78%を占める。もっぱら酸化防止目的で、食品産業や工業で幅広い用途で利用される。ビールにおいても酸化防止の役割はあるものの、ほかにビール独特のいくつかの機能がある。
- 窒素：窒素の「窒」は「穴」と「至」からできた文字。「穴が至る(一杯になる)」から「ふさぐ」という意。窒息など。（角川、新字源漢和辞典）
- Azote(アゾトゥ、アゾーテ)：フランス語やイタリア語の窒素。ギリシャ語起源。「呼吸を困難にする」の意。（白水社、仏和辞典）漢字の意味に似ている。
- Nitrogen(ナイトロゲン)：英語の窒素。ニトロ(硝酸化合物)とgen(生じたもの、という接尾語)の組み合わせ。（研究社、英和辞典）

# ● 「均衡状態」 (Equilibrium) とは

気液界面で、液に入っていく分子数と、  
液から出て行く分子数が同じになった状態

||

「HSの炭酸ガス圧が経時的に一定」

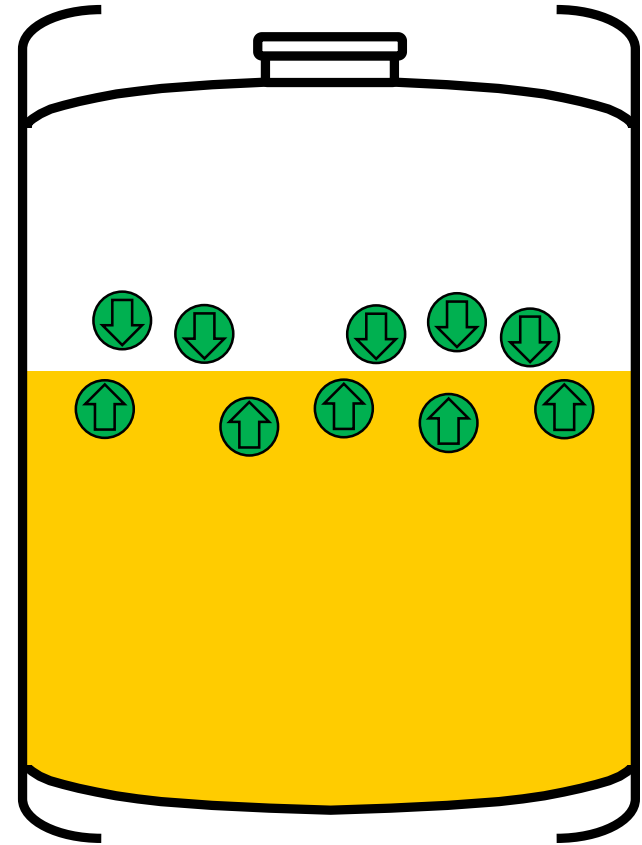
かつ

「液の炭酸ガス含有量 (CO<sub>2</sub> GV) が一定」

典型的アメリカンラガーのCoorsのガス含有量は  
2.66GV。「38°F (3.33°C) での均衡圧 (equilibrium  
pressure) は 13 psig (0.914kgf/cm<sup>2</sup>) 」。



「Coorsのケグを38°F に保ち、13 psigの純CO<sub>2</sub>ガスを  
ヘッドスペースにかけておけば、オリジナルのガス含  
有量 (2.66CO<sub>2</sub> GV) を永遠に保てる」



  CO<sub>2</sub> molecules

# ● ビールとCO2

どんなビールにも、そのオリジナルの炭酸ガス含有量を（特定の温度で）一定に保てる特定の炭酸ガス圧力がある。



均衡圧より低い場合、  
ガスが抜けていく  
(going flat)  
または、抜けていく過程  
であっても、泡立って  
しまう場合もある。



均衡圧で維持され  
ていれば、適度な  
本来の泡 (foam  
head) を形成。



均衡圧より高い場合、  
(over-carbonated)  
泡立ってしまう。



10psig (0.70kgf/cm<sup>2</sup>  
0.69bar 0.069MPa)  
38°F (3.3°C)

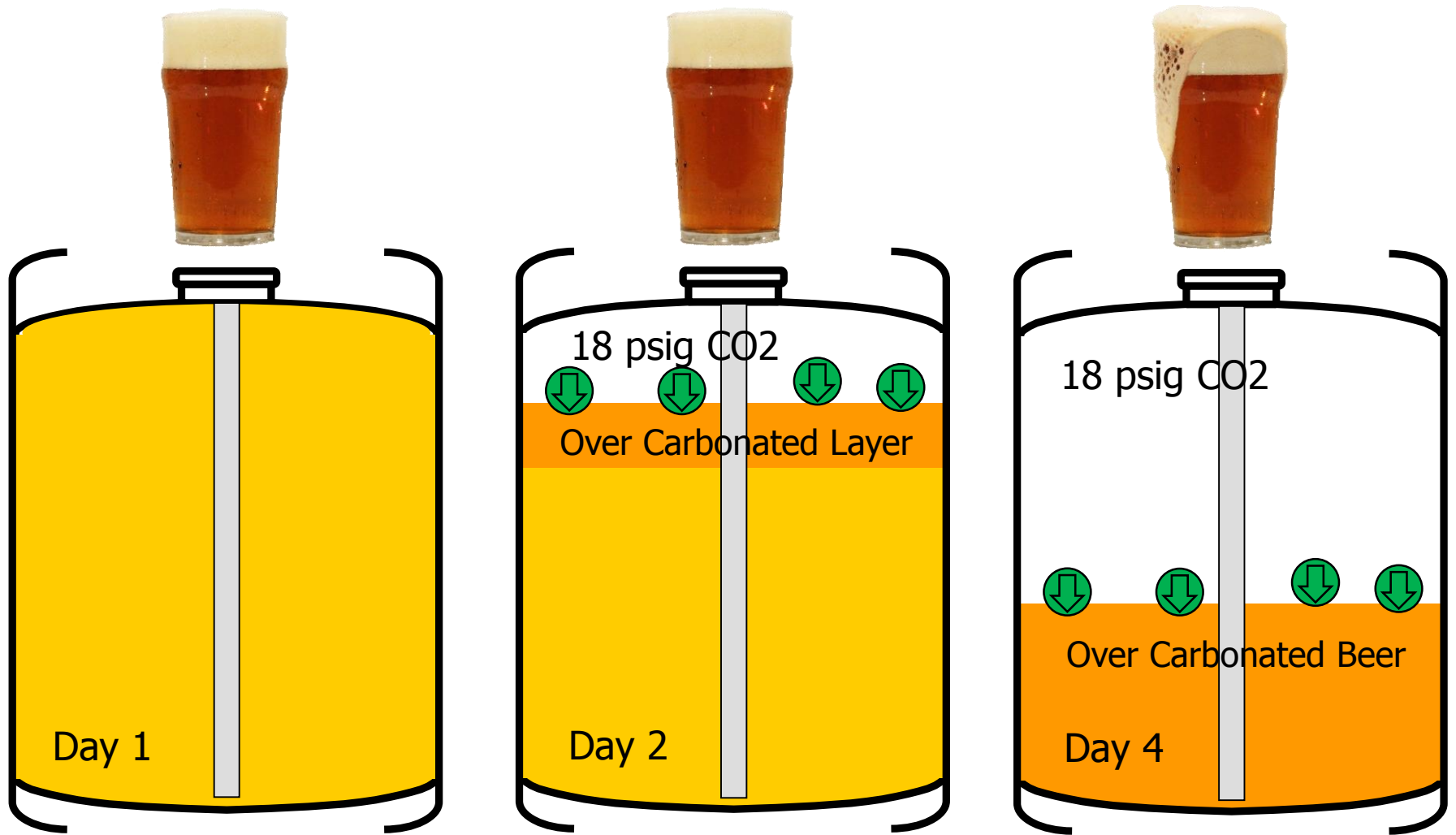


13psig (0.91kgf/cm<sup>2</sup>  
0.090bar 0.90MPa)  
38°F (3.3°C)



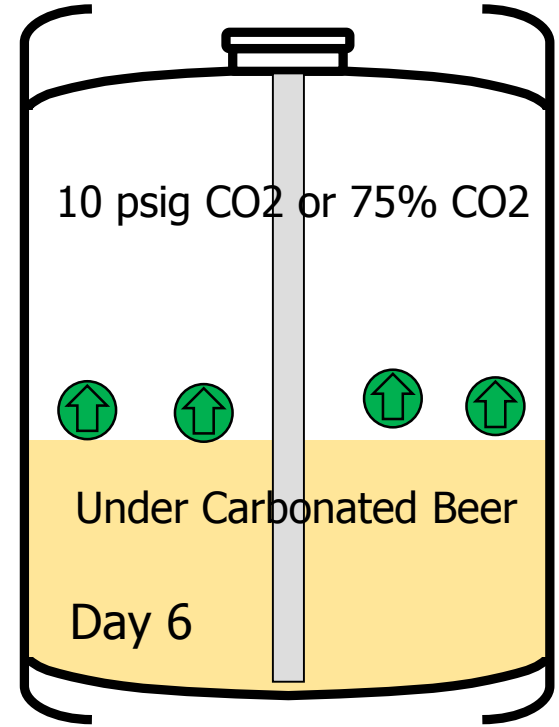
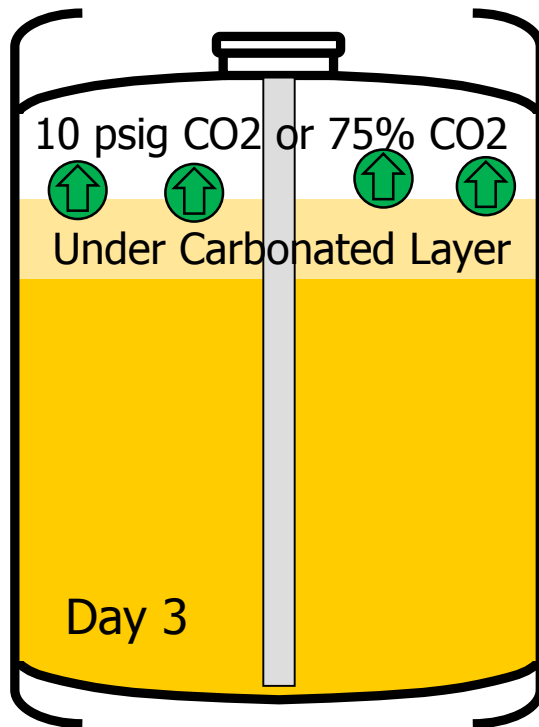
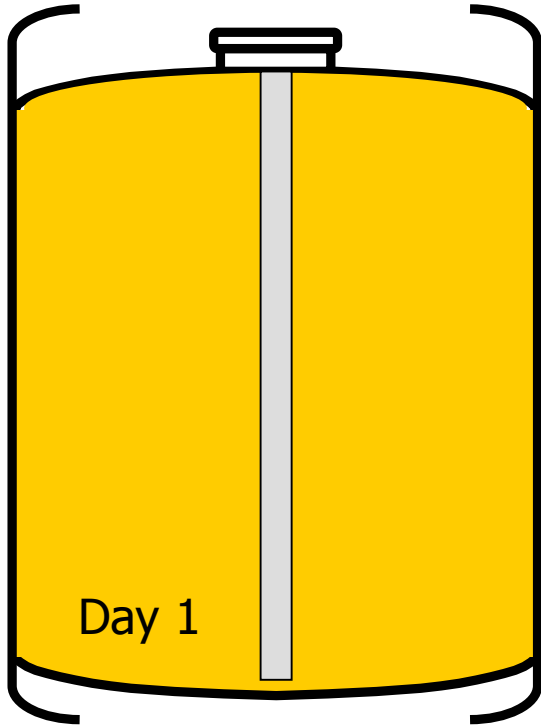
16psig (1.13kgf/cm<sup>2</sup>  
1.10bar 0.110MPa) 4

# ● オーバーカーボネーション@ケグ



CO2ガスは静置状態ではきわめてゆっくりしか液に溶けないので、最初は炭酸ガスリッチの部分が液面から層状をなす。（液への進入速度：数十cm/day）。一方、ケグを揺すって液を攪拌すれば一気に溶解する。

# ● ガス抜け@ケグ



# ● スタウトなど窒素含有の場合はさらに複雑

Start condition when wrong gas connected

End condition

30 litres

100 % CO<sub>2</sub>

3.5 bar (abs)  
= 37 psi (g)

---

20 litres

CO<sub>2</sub> = 2.2 g/l  
N<sub>2</sub> = 4.2 %

Temp. = 5 °C



30 litres

CO<sub>2</sub> p.press = 2.22  
N<sub>2</sub> p.press = 0.03

---

Total press. = 2.25  
= 32.6 psi (g)

---

20 litres

CO<sub>2</sub> = 5.99 g/l  
N<sub>2</sub> = 0.06 %

Temp. = 5 °C

30 litres

100 % CO<sub>2</sub>

3.5 bar (abs)  
= 37 psi (g)

---

20 litres

CO<sub>2</sub> = 2.2 g/l  
N<sub>2</sub> = 4.2 %

Temp. = 5 °C



30 litres

99% CO<sub>2</sub>  
1 % N<sub>2</sub>

2.25 bar (abs)  
= 32.6 psi (g)

---

20 litres

CO<sub>2</sub> = 5.99 g/l  
N<sub>2</sub> = 0.06 %

Temp. = 5 °C

スタウトを炭酸ガスで押すと、  
最初と最後（均衡状態到達後）では、

→ビールのガス組成がまったく変わる  
スタウトではなくなってしまう

CO<sub>2</sub>: 2.2g/l → 5.99g/l

N<sub>2</sub>: 4.2% → 0.06%

→ヘッドスペースのガス構成も変わる

100%CO<sub>2</sub> → 99%CO<sub>2</sub> + 1%

(表示の事例、炭酸ガス2.2g/l (=1.12 CO<sub>2</sub>GV)、  
窒素ガス4.2%は、ギネスビールのガス構成。)

# ● ケグからの注ぎだしのライン



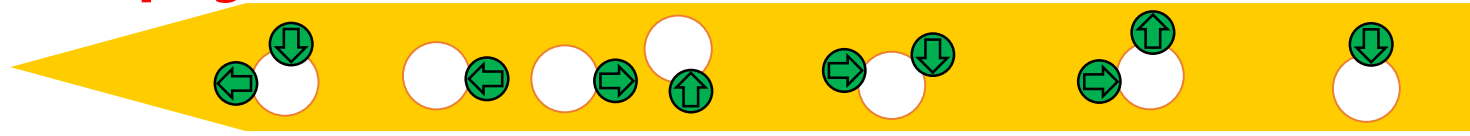
13 psig / 38°F (均衡圧) = 過剰な泡発生なし / 泡吹きなし



10 psig / 38°F or 13 psig / 42°F = ライン内で泡→泡吹き



20 psig / 38°F = ライン内で泡→泡吹き

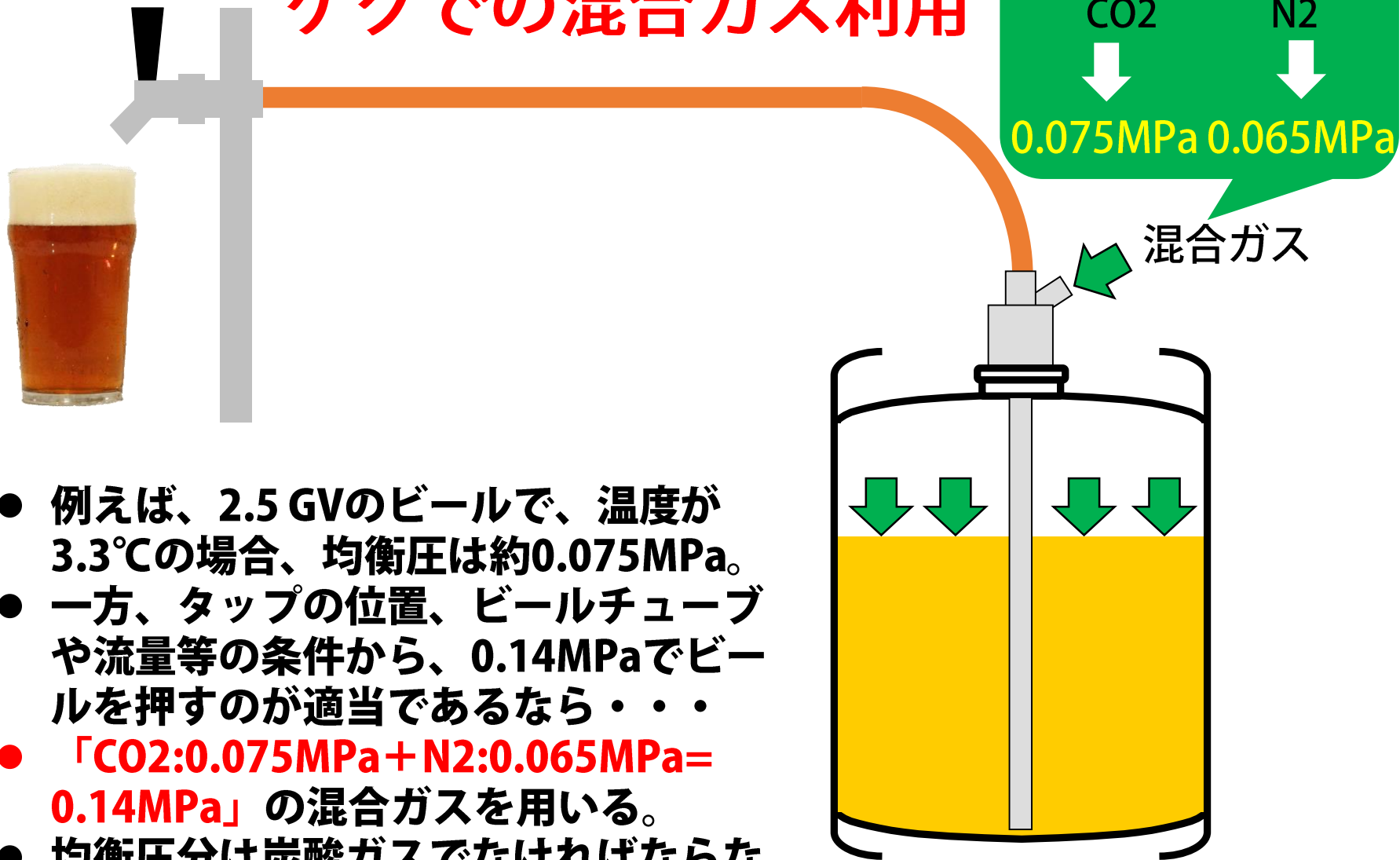


- 「低い圧力」や「温度上昇」は、もちろん泡発生の要因に。
- サーバータップにむけてビールを押し出すときには、実務的には「より高い圧力」（たとえば20psig）を使わなければならない。この場合も均衡圧からずれて泡が発生する要因となる。

※psigはPounds Square Inch Gauge。Gauge pressureゲージ圧とは、絶対圧力と大気圧の差。

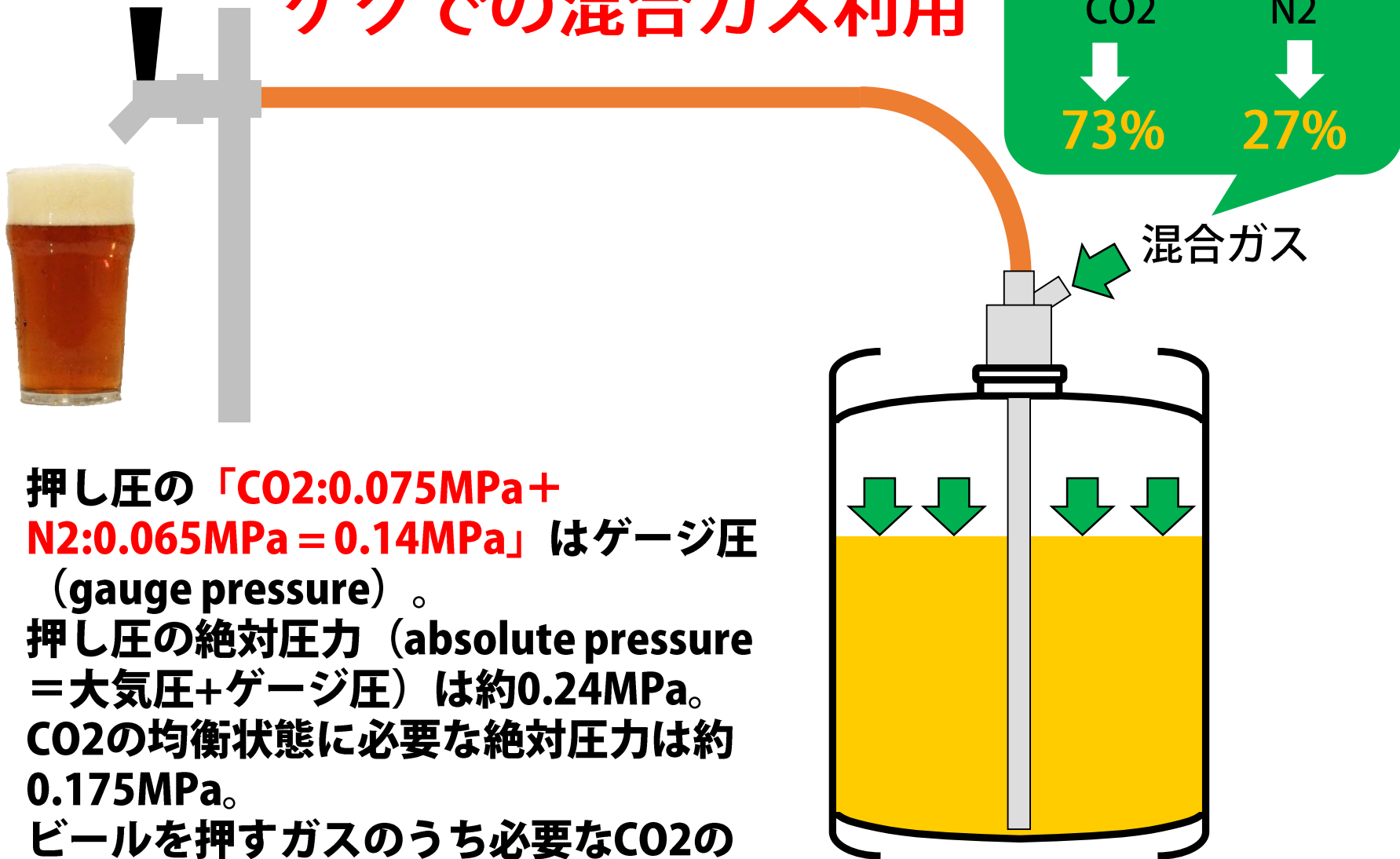


# 窒素ガス利用1：「ビールを押し」 ケグでの混合ガス利用



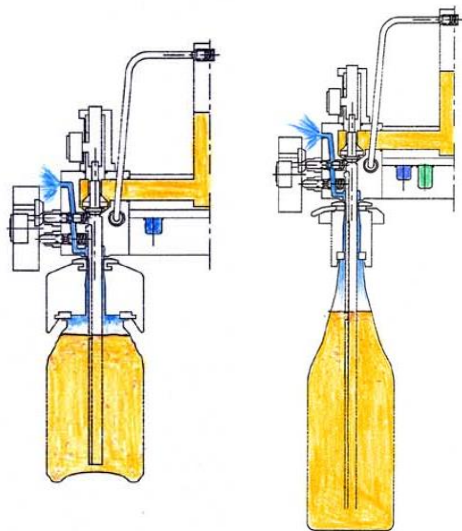
- 例えば、2.5 GVのビールで、温度が3.3°Cの場合、均衡圧は約0.075MPa。
- 一方、タップの位置、ビールチューブや流量等の条件から、0.14MPaでビールを押しするのが適当であるなら・・・
- 「CO2:0.075MPa+N2:0.065MPa=0.14MPa」の混合ガスを用いる。
- 均衡圧分は炭酸ガスでなければならない。残りは炭酸ガスである必要はない。

# 窒素ガス利用1：「ビールを押し出す」 ケグでの混合ガス利用



- 押し圧の「CO2:0.075MPa + N2:0.065MPa = 0.14MPa」はゲージ圧 (gauge pressure)。
- 押し圧の絶対圧力 (absolute pressure = 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、 $0.175 \div 0.24 = 73\%$ 。

# ● 充填での混合ガス利用

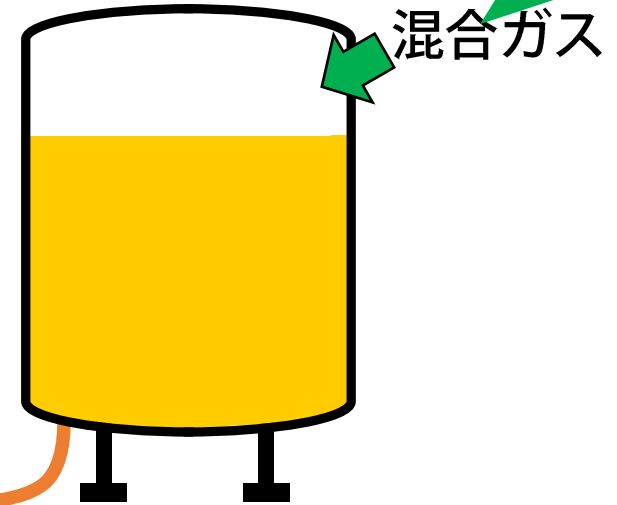


方法① ガスで加圧

均衡圧 CO<sub>2</sub> + α N<sub>2</sub>

0.075MPa 0.1MPa

方法② ポンプ



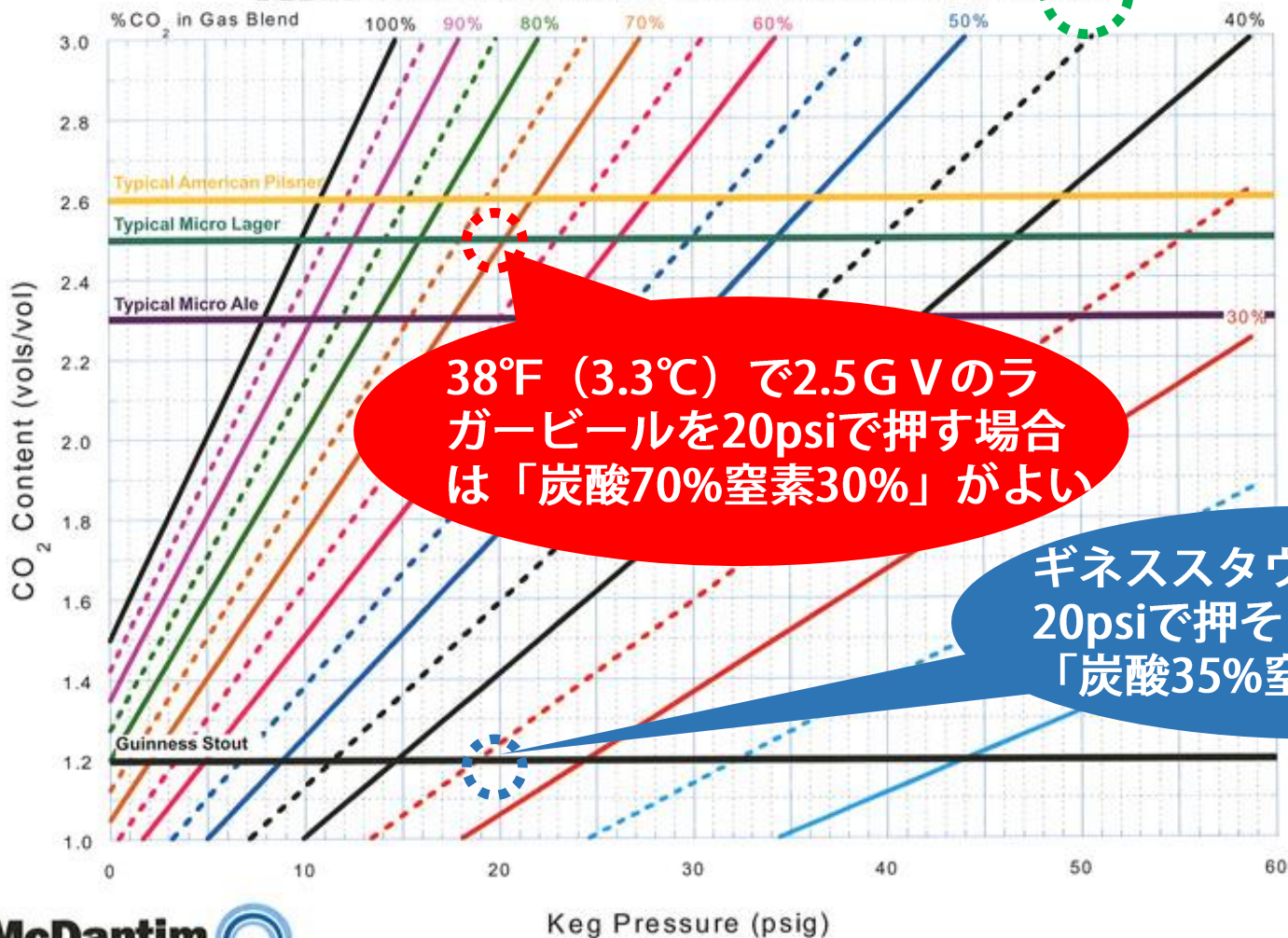
- びん・缶詰めの場合も、実用的なスピードを確保するためには、[均衡圧] + [0.05~0.15MPa] で押すことが必要。
- 低速機、フィルターボールなしの場合には、ガス加圧（混合ガス）がのぞましい。



ミルウォーキーのMC社、  
充填機は当社のBeer Radix

# ● 混合比率のガイドライン

BLEND SELECTION CHART FOR BEER STORED AT 38°F



38°F (3.3°C) で2.5GVのラガービールを20psiで押す場合は「炭酸70%窒素30%」がよい

ギネススタウトを38°Fで20psiで押そうとする場合は「炭酸35%窒素65%」がよい



	スタウト、 ポーター	エール、 ビターなど	一般的な ラガー	バイツェン など
CO2	30~35%	50~60%	60~70%	70~80%
: N2	: 70~65%	: 50~40%	: 40~30%	: 30~20%

# ● ガスブレンダー (ガス混合器)



- ✓日本では、樽で供給される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ボンベ (=温暖化ガス) は百万本程度か?。真剣に減らさねばならない!
- ✓欧米では窒素ブレンド利用にシフトしている。

## 窒素ガス利用2：「原料として」 – Nitrogenated Beer

	スタウト、 ポーター	エール、 ビターなど	一般的な ラガー	バイツェン など
CO2 g/l	2.1~2.2	3.0~4.0	5.0~5.5	5.5~6.9
N2 ppm	40~50	0~40	0	0
典型的な 提供温度	5~10℃	5~10℃	4~7℃	4~7℃
泡の厚み mm	15~25	15~25	15~20	15~20

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ことが非常に大きな要因！



窒素ガスの泡 (foam) は、炭酸ガスの泡に比べて極めて長持ち！

＜歴史＞1950年代に、ギネスが炭酸ガスを少なく窒素ガスを多く添加する技術を開発したのが、ビールの窒素技術の始まり。

# 窒素ガス利用2：「原料として」－Nitrogenated Beer



picture by kita



●2012年8月に限定販売された、サッポロ「アビス・スタウト・クリーミートップ」。原材料は「麦芽、ホップ、窒素」。缶体は通常の350mlサイズだが、実容量は330ml。缶蓋が「通常より狭く、かつ開口部周囲に細かな凹み（ディンプル）がある」。注いだときクリーミーな泡ができる。

●2006年から2011年ごろまで販売されていた、アサヒ「プライムタイム」。原材料は「麦芽、ホップ、窒素」。缶体は通常の350mlサイズ。

●「ギネス」の缶ビールの原材料表示は「麦芽、ホップ、大麦」だが、実際には窒素を利用している。



picture by kita

# 窒素ガスビールの特徴

1. 泡がクリームのように大変きめ細かい。
2. 泡が極めて長持ちする。（場合によっては30分以上も！）
3. 「カスケード（滝）」と称して「泡が下に落ちていく」とシーンが見られる。
4. 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ない。たくさん飲める。
5. 刺激的フレーバーや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。
6. 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ある。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。



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。スタウトビールは粘性が高い。壁面の影響を受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 Technologyの資料から



# ● ウィジェット(widget)



ギネスドラウトに使用されるフローティングウィジェット。缶シーマ―直前に液体窒素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（矢印の部分。0.2mmの穴）は液面下に沈む設計。缶体は350mlサイズよりやや大きい、実用量は440ml。なお、左の缶は2005年末からの202、右はそれまでの204。（蓋のサイズ）

From Web of Yo-Ho Brewing



フローティング・ウィジェット3種。  
InBev、ハイネケン、ギネス。

2011年、ヤッホーブルーイングが発売した「よなよなリアルエール缶」は、日本初のウィジェット缶ビール。英国Ball社の缶を使用。直径0.15mmの穴のあるウィジェットが缶底に固定された状態で空缶が供給される。缶体は470mlサイズだが、実用量は440ml。限定生産、賞味期限は3週間。



# ● LN2滴下を使って作るナイトロミックス

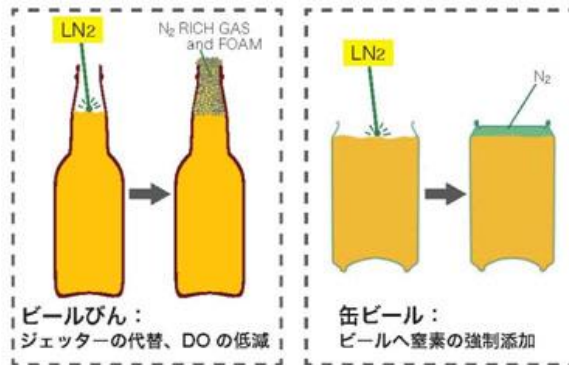
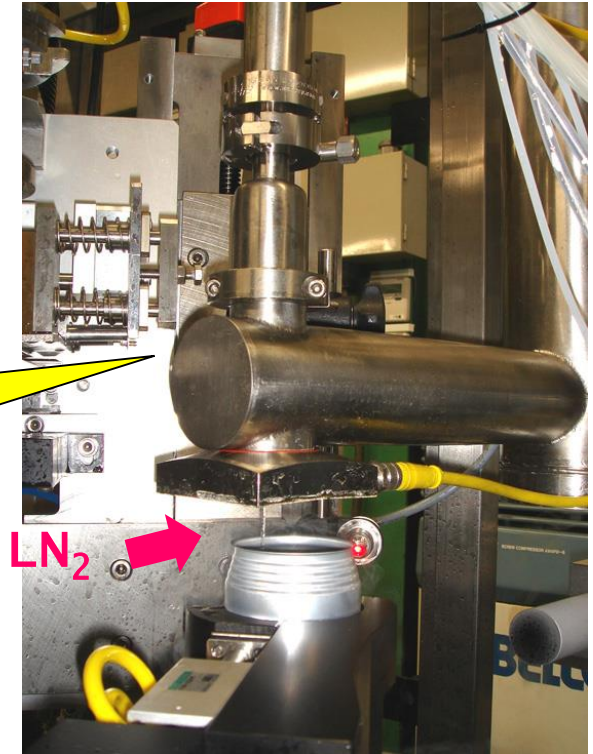
- 液体窒素 (Liquid Nitrogen : LN<sub>2</sub>) は1気圧下での沸点が -196℃。滴下機で1滴をボトルや缶などの容器に滴下すると、すぐに窒素ガス(N<sub>2</sub>)に気化し始める。液体窒素が窒素ガスに気化すると、容積は約700倍になる。
- 缶や壺を密封する直前に液体窒素を滴下することで、窒素を強制溶存させる。ナイトロミックスビールの窒素・炭酸のバランスはごく狭い範囲なので、高い精度と要求される。
- LN2滴下はジェッターとして用いられる場合もある。



ダブリンのG社

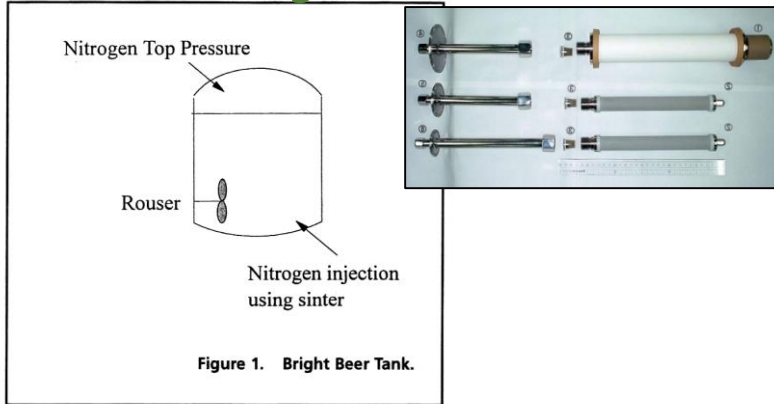
ウィジェットビールの  
テスト充填に使われ  
る当社のBRX、LN2  
ドoser付きモデル

LN2ドoser  
(VBS)

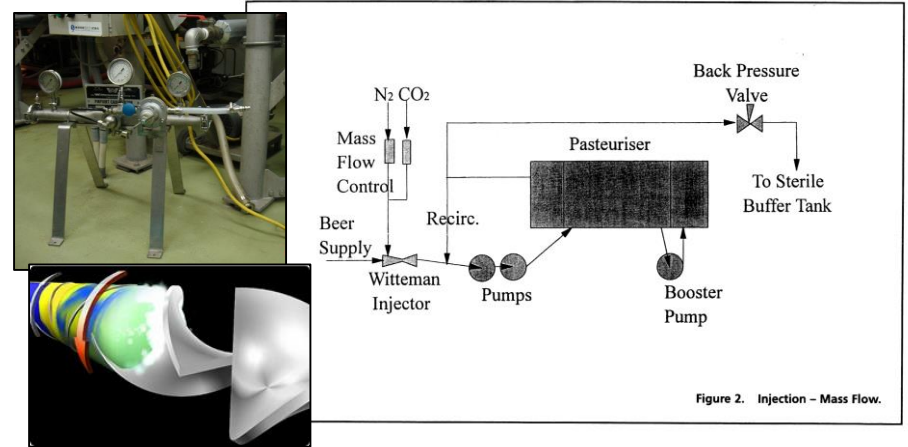


# ● LN2滴下以外のナイトロミックス製造法

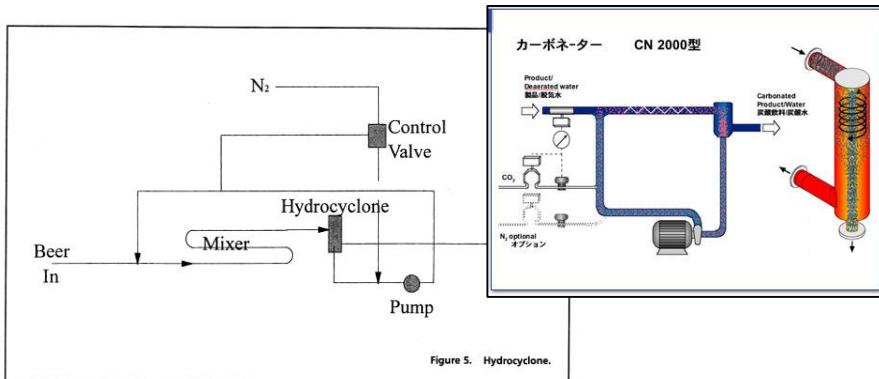
● 「ストーン」でタンク内に吹き込む方法が一番クラシック。  
(Zahm & Nagel)



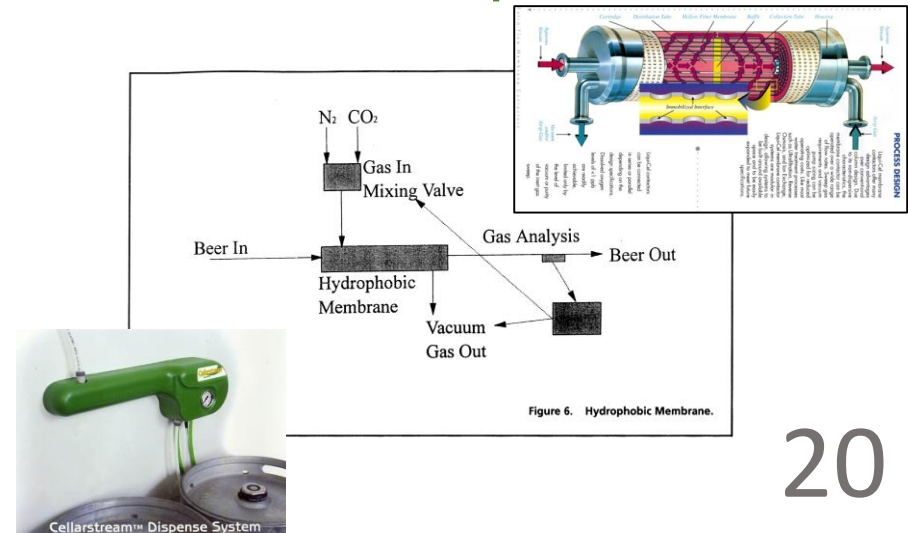
● 「ピンポイント」カーボネーション (Witte man)。なお、スタティックミキサー (ノリタケ) の改良で効率が画期的に向上



● 「サイクロン式」：常温でもガス添加できると謳っている。  
(ツーヘンハーゲン)



● 「メンブランから透過」：いろいろ試されている。(写真はLiqui-Cel、ほか)



# 関連解説：「ビールの泡と窒素」

## 1. 泡の発生について

ビールびんの栓を抜き、グラスに注ぐと泡が発生します。この状態を炭酸ガスの面から見ると、次の様な変化がおきることとなります。

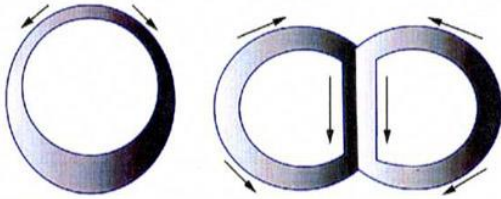
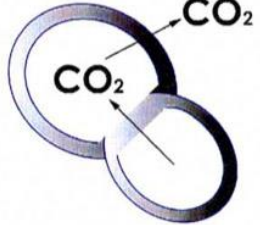
■ 栓を抜く前：（例）約5℃で2.74VOLの炭酸ガスが溶解していた（この状態で平衡）。

■ グラスに注ぐ：ビールが大気圧下（圧力計では0Kg/cm<sup>2</sup>）に置かれ空気を巻き込む。

その結果、炭酸ガスの非平衡（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）が発生し、泡を発生させることにより平衡状態へと進行します。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1.42VOL溶解しますが、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 $1.42 \times 0.0003$ 気圧（炭酸ガスの分圧） $= 0.0004$ VOLしか溶解しないこととなります。従って $2.74 - 0.0004 = 2.74$ VOL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、発生することとなります。（なお、ビール中の炭酸ガスは液中に重炭酸H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>として存在するとされています。）

## 2. 泡の成長、破裂、安定化について

泡はビール中より次から次へと発生してきますが、逆に空気に接している大きな泡は次から次へと消えていきます。この状況は以下のように考えられています。

<p>① 泡表面の液の流下による泡の破裂</p> <p>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。</p>	
<p>② 泡中ガスの大気中や泡間の移動に伴う泡の縮小</p> <p>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。</p>	

どんな泡も上記の経緯をたどり最後は消えていきます。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といえます。

## 3. 泡持ちに影響するビール成分について

ビールの泡は他の炭酸飲料と比べると非常に安定しています。これは主としてビール成分中の泡タンパクによるものとされています。

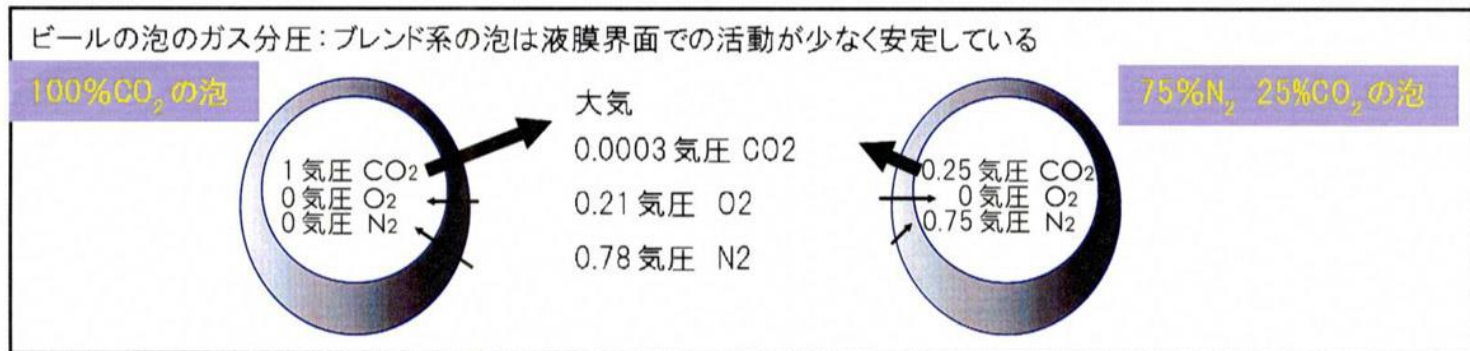
泡内面の気・液界面には泡タンパクの疎水部分を出して、泡の壁を形成し、安定化させているとされています。泡持ちを良くする他の成分としてはホップ由来苦味成分とか、 $\alpha$ -グルカン等が、また逆に泡持ちを悪くする成分としては脂質とか低分子窒素化合物などが報告されています。

#### 4. 窒素ガスブレンド系の泡について

窒素ガスは炭酸ガスと比べるとビールに非常に溶けにくい（溶解度1/60～1/70）のですが若干量を溶かすことで泡の物性はドラマティックに変化します。具体的には安定した泡を作るための窒素ガスの溶解量は10～30PPM程度であると報告されています。

（ガスボリュームに換算すると $10 \times 22.4 \times 10^{-3} / 28 \sim 30 \times 22.4 \times 10^{-3} / 28 = 0.008 \sim 0.024 \text{VOL}$ ）。また、泡中の分圧として窒素ガス75%、炭酸ガス25%程度のブレンド比率はクリーミーな泡を作る一つの理想的な配合といわれています。

ブレンド系の泡のガス成分は炭酸ガスだけの泡と異なり、泡液膜を通じたガスの動きが大きく異なってきます。以下にその概念図を示しました。



図右のブレンド系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こととなります。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ります。窒素ブレンド系については、泡の形成以外にフレーバーの安定化とかガス代のコストダウン、泡の安定によりグラスに注ぐ時のビールロスが減るなどのメリットもあるといわれています。