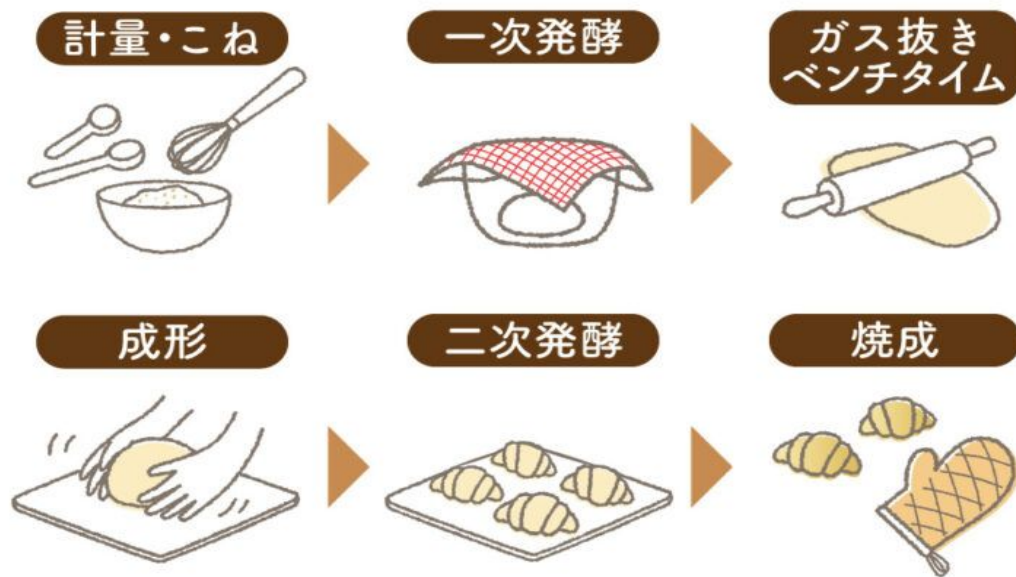


パンの製造における麴菌、酵母菌とその酵素の働き

パンの製造工程における麴菌、酵母菌、および各種酵素の働きは、パンの膨らみ、風味、食感に大きく寄与しています。これらの微生物と酵素が相互に作用し、複雑な変化を生み出します。

ミキシング、1次発酵、ガス抜き、ベンチタイム、2次発酵、焼成の各工程におけるそれぞれの役割を説明します。



全体的な役割

・ **酵母菌** : 主に糖を分解して二酸化炭素 (CO₂) とエタノール (アルコール) を生成し、生地を膨らませる役割を担います。また、パンの風味形成にも大きく貢献します。酸素の有無によって、アルコール発酵 (嫌氣的) と呼吸 (好氣的) という異なる代謝経路を使い分けます。

アルコール発酵 : 酸素が少ない嫌氣的な環境で、酵母はブドウ糖などの糖分を分解し、エタノール (アルコール) と二酸化炭素 (CO₂) を生成します。

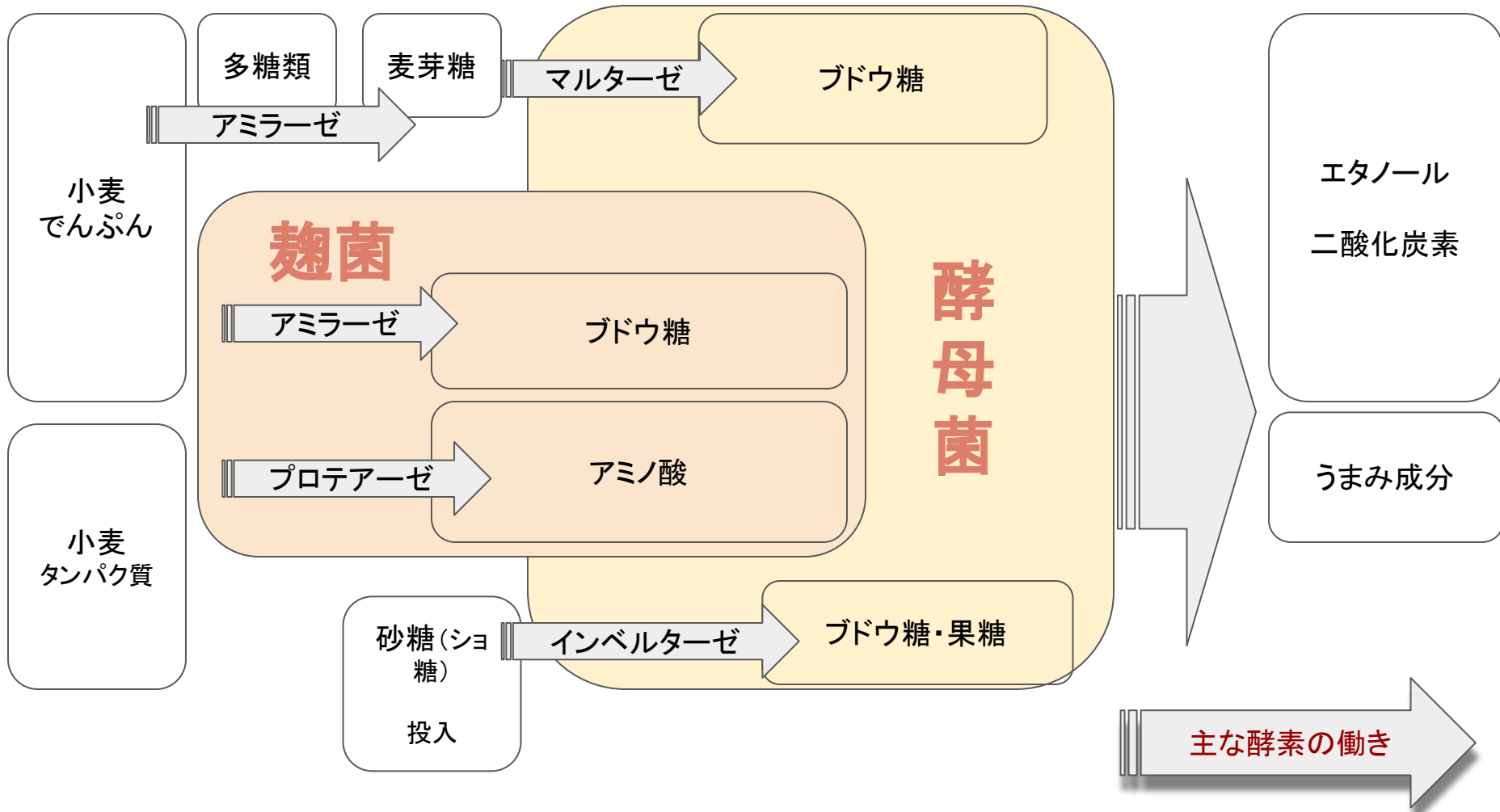
・ 化学式では、1分子のグルコースから2分子のエタノールと2分子の二酸化炭素が生成されます ($C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$)

呼吸 : 酸素がある環境では、酵母は糖分を分解して**二酸化炭素 (CO₂) と水**を生成し、アルコール発酵よりもはるかに多くのエネルギーを得て増殖します。パンチ作業などで生地に酸素を供給することで、酵母の呼吸が促進され、増殖が早まります

・ **麴菌** : 酵母と並行して発酵に関与します。

デンプンやタンパク質を分解する豊富な酵素 (アミラーゼ、プロテアーゼなど) を持ち、酵母の栄養源となる単純な糖やアミノ酸を供給します。これにより、パンに独特の甘味、旨味、香ばしい風味をもたらします。また、ビタミン B 群の生成も行い、酵母の活動を助けます。麴菌は「酵素の宝庫」とも呼ばれ、30種類以上の豊富な酵素を持ちます。

・ **酵素** : 小麦粉自体に含まれるもの、酵母、麴菌、乳酸菌によって生成されるものがあります。例えば、アミラーゼはデンプンを糖に、プロテアーゼはタンパク質をアミノ酸に分解します

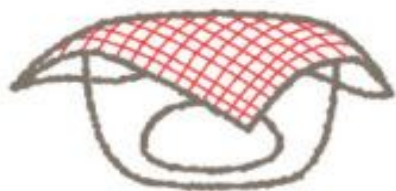




ミキシング(捏ねる)

- **酵母菌** : 粉、砂糖、塩、水などの材料が混ざり合うことで、酵母の活動が始まります。この際、塩や砂糖が直接イーストに触れると発酵力が弱まる原因となるため、注意が必要です。
- **麴菌** : 混ぜ合わせることで、麴菌 の持つ酵素が、それぞれの基質(デンプンやタンパク質、糖)に作用し始めます。
- **酵素** : 小麦粉のタンパク質と水が結合し、パンの骨格となるグルテンが形成され始めます。同時に、小麦粉や微生物由来の酵素(アミラーゼ、プロテアーゼなど)が働き始め、後の発酵のためにデンプンやタンパク質を分解し始めます

一次発酵



酵母菌:この工程で最も活発に活動します。生地中の糖分(麦芽糖、ブドウ糖、果糖、酵素によって分解されたショ糖など)を栄養源として取り込み、アルコール発酵によって大量の二酸化炭素とエタノールを生成します。生成された二酸化炭素がグルテンの網目構造に包み込まれ、生地が膨らみます。同時に、エタノールや他の香気成分が生成され、パンの風味の基礎が作られます。

麹菌:麹菌の持つアミラーゼやプロテアーゼが引き続きデンプンやタンパク質を分解し、酵母が利用できる単純な糖やアミノ酸を供給します。これにより、酵母の発酵が促進されます。また、麹菌が生成するビタミンB群も酵母のアルコール発酵を助けます



ガス抜き(パンチ)

◦ **酵母菌** : 一次発酵で生成された二酸化炭素を生地から抜き、生地内の温度を均一にし、新鮮な酸素を供給します。酸素の供給は、酵母の呼吸活動(増殖とエネルギー生成)を一時的に促進し、その後の発酵を活発にします。

◦ **グルテン** : ガスが抜けることで、伸展していたグルテンの網目構造が複雑に絡み合い、結合が強化されます。これにより、その後の発酵で発生するガスをよりしっかりと保持できるようになり、焼き上がりのパンのボリュームと内相のきめ細かさに貢献します。

◦ **麹菌** : 直接的な機械的刺激による働きは少ないですが、活動は継続し、酵素反応も進行します。



4. パンチタイム

◦ **酵母菌** : ガス抜きで強化された生地が落ち着き、再び発酵活動を再開します。生地の緊張が緩み、成形しやすい状態になります。

◦ **麹菌** : 引き続き、風味成分や有機酸の生成が行われ、生地の熟成が進みます。

この時間は、生地がガス抜きによるダメージから回復し、伸びやすくなる「構造緩和」の重要な期間です



成形

二次発酵



酵母菌：成形された生地が、この最終発酵で大きく膨らみます。酵母が活発に二酸化炭素とエタノールを生成し、グルテンの網目を最大限に引き伸ばします。これにより、最終的なパンのボリュームと気泡の構造が決定されます。酵母の最適な活動温度は35～38℃ですが、単純なガス発生量で見ると40℃でも活発になりますが、パンの発酵には30℃程度が良いとされています。

麴菌：麴菌由来の風味成分もこの段階で深みを増します



焼成

酵母菌・麴菌 : オープンに入れると、急激な温度上昇により酵母は一時的に活動が活発化し、最後の二酸化炭素を放出し(窯伸び)、パンが大きく膨らみます。しかし、酵母は 60℃で死滅し、麴菌も熱で活動を停止します。

エタノール・二酸化炭素 : 生地中のエタノールは気化し、二酸化炭素は膨張して、パンのボリュームと内部の気泡構造を形成します。ほとんどのエタノールは加熱により蒸発します。

グルテン : 熱によりグルテンの網目構造が固まり、パンの骨格が形成されます。

酵素(全般) : 熱によって酵素は失活しますが、それまでに微生物や酵素が生成した糖やアミノ酸などの成分が、焼き上がりのパンの風味と色に大きく貢献します。

メイラード反応・カラメル化反応 : 生地内のタンパク質と還元糖(ブドウ糖、果糖、麦芽糖、乳糖)が加熱されることで、メイラード反応が起こり、焼き色(メラノイジン)と香ばしい香り成分が生成されます。糖のカラメル化反応も焼き色と風味に寄与します。麴菌による糖やアミノ酸の生成が、焼成時の焦がし醤油のような香ばしさや上品な発酵風味につながります。

デンプン : 加熱によりデンプンがアルファー化(糊化)し、水分を吸収して柔らかい食感になります