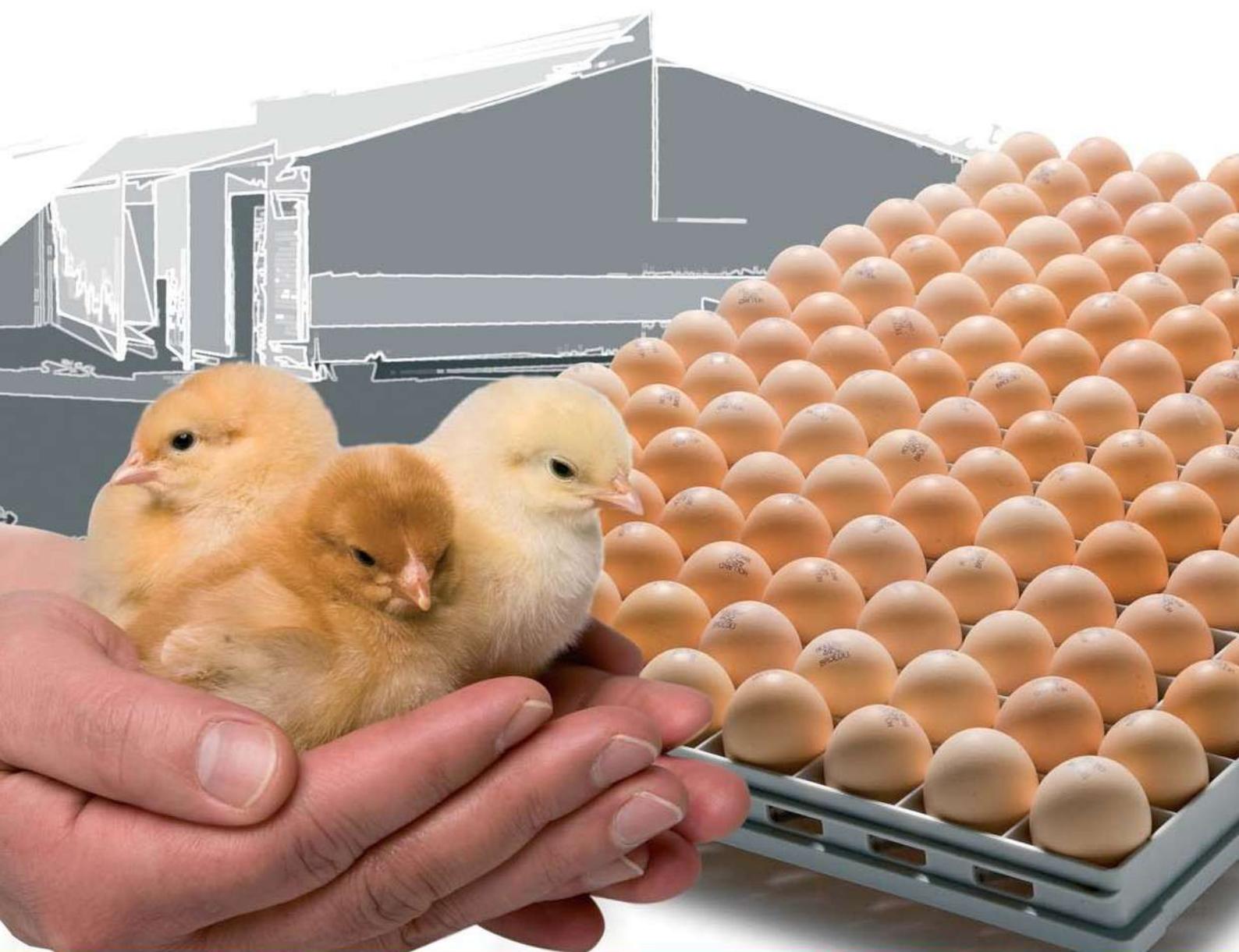


Incubation Guide



種卵	4
→ 種卵の特徴	4
→ 種卵の選別	5
→ 種卵の消毒	8
貯卵	12
→ 排卵から産卵まで	12
→ プレインキュベーション(PRESI)	14
→ 種卵の貯卵における物理化学的影響	15
→ 貯卵条件	18
→ 推奨事項	21
→ 貯卵が孵化時間に及ぼす影響	21
孵化 セッター	23
→ プレヒーティング	23
→ 孵化温度	24
→ 孵化期間中の湿度	33
→ 転卵	35
→ CO ₂	37
→ 機械への投入	39
→ 孵化期間中の消毒	40
→ セッター室環境	40
移卵	41
→ 移卵室環境	41
孵化 ハッチャー	42
→ ハッチャー温度	42
→ 孵化期間中の湿度	43
→ 二酸化炭素濃度	43
→ ハッチャウンドウ	44
→ 総孵化時間	45
→ 孵化期間中の消毒	46
→ ハッチャー室の環境	46
ひな質	47
→ ひなの体長	47
→ The Pasgar [©] スコア	48
胚死亡の分析と原因	51
参考文献	57
注記	61

注：本書に含まれる性能データは、当社の研究用鶏群およびお客様の鶏群から得られた結果と経験に基づくものです。本書に含まれるデータは、栄養、飼養密度、または物理的・生物学的環境が異なる条件下で同じ性能が発揮されることを保証するものではありません。（ただしこれに限定されるものではなく）、当社は鶏群の目的適合性、性能、使用、性質または品質に関して一切の保証を行いません。Hubbard社は、本書に含まれる情報の正確性または完全性について、一切の表明を行いません。

種卵

初生ひなの品質は、大部分が種卵の品質に依存します。したがって、生殖期間全体を通じて、卵の最適な管理と品質を確保するためのあらゆる努力を行うことが重要です。

種卵の特徴

→ 卵の組成とその影響要因

卵のマクロ成分（水分、タンパク質とアミノ酸、総脂肪、主要ミネラル）の組成は摂取された栄養の吸収にわずかに依存しますが、微量元素、ミネラル、ビタミンおよび脂質由来の脂肪酸は、摂取された栄養の性質によって変動します。

したがって、栄養欠乏が間接的に卵へのマクロ栄養素の移行を妨げない限り、たとえばタンパク質やカルシウムが過剰な飼料を与えたとしても、必ずしもひなや卵殻の品質が向上するわけではありません。

微量元素の場合は状況が異なります。卵のビタミン含有量（特にビタミンA、DおよびB群の一部）は、消化管からの吸収に直接関連しています。特にビタミンに関して、栄養要求量が十分に満たされていることを確保することが重要です。

脂肪酸についても同様です。飽和脂肪酸が過剰な飼料は、不飽和脂肪酸の沈着を減少させ、胚の発育の良いスタートを妨げる可能性があります。

卵中のマクロ栄養素のレベルに大きく影響するのは鶏群の週齢だけです。鶏群が高齢になると、卵黄の大きさは増加し、卵白の割合は減少します。マクロ栄養素についても同様で、卵内の濃縮されている場所に応じて増減が生じます。

これは性成熟の週齢管理の重要性を示すものです。産卵開始が早すぎると、卵の大きさが不十分になり、卵中のマクロ栄養素の沈着が減少し、結果としてひなの品質が低下することが多くなります。

→ 種卵の衛生的品質

種卵の衛生的品質は、卵が産まれた時点から鶏群およびその環境の衛生状態を反映しています。したがって、鶏群は以下の問題がないことが重要です：

- ◆ 垂直感染性疾患
- ◆ 卵巣疾患
- ◆ 卵形成に必要な重要な栄養素の腸からの吸収に影響する腸の問題
- ◆ 血液のpHに影響し、その後卵中の栄養素の輸送と沈着に影響する呼吸器系の問題

ネストの状態と衛生管理は極めて重要です：

マニュアルネストの場合、巣材は：

- ◆ 安全な供給元から入手し、保管エリア到着時に適切に消毒されていること
- ◆ 直射日光や雨を避け、通気の良い場所で乾燥した状態で保管すること
- ◆ 野鳥、ネズミその他の害獣など、あらゆる汚染源から保護されていること

ネストに配置したら、以下を確認してください：

種卵

- ◆ 消毒（許可されている場合、パラホルムアルデヒド粉末を2週間ごとに小さじ1杯（5~10g）使用）
- ◆ 巣材は2~3か月ごとに交換するか、糞尿による汚染が過度に発生した場合や、巣材が濡れた場合は早めに交換すること

自動ネストでは以下を確実に行うこと：

- ◆ 夜間のネストの汚染を防ぐため、排出またはネスト閉鎖システムによる保護
- ◆ 収卵ベルトを含む定期的な洗浄と消毒
- ◆ ネストマットに異常な損傷がある場合は交換すること

→ 種卵の選別

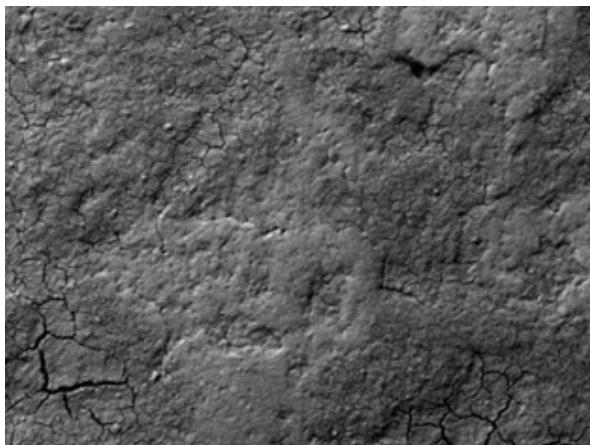
本ガイドの後半で、卵殻の品質と卵重が孵化条件を決定する上でいつ、どのように重要になるかが明らかになります。

卵を重量や卵殻の品質で選別することを推奨するわけではありませんが、同一群内での卵の均一性の重要性を強調することは重要です。卵の均一性は、疑いなく卵殻の品質とともに、母鶏群の状態に直接関連しています。

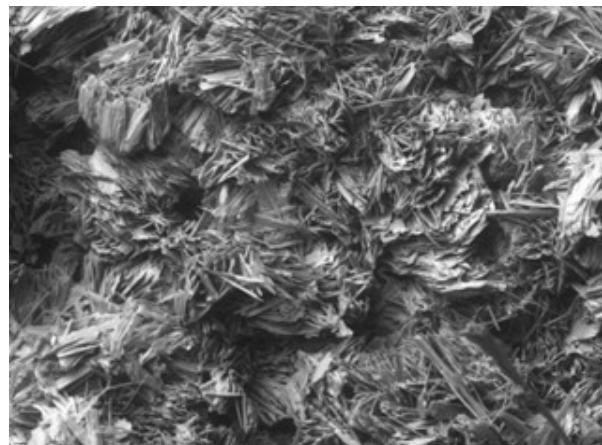
卵が均一である場合、各胚の適切な発育要求に対応した孵化条件やプロファイルの選択が容易になります。

→ 理想的な種卵は以下の条件を満たすべきです：

- ◆ 縦横比が1.4:1.0であること
- ◆ 鶏群の平均的な重量・サイズであること
- ◆ 乾燥して清潔で、ほこりから保護されたネストで産卵されたものであること
- ◆ 疾病のない鶏群からのものであること
- ◆ 糞や巣材の付着がないこと
- ◆ 他の破卵による卵白や卵黄で汚れていないこと
- ◆ 鶏群の週齢に応じて濃い茶色または明るい茶色の均一な色で、粗さやカルシウム沈着のない滑らかな殻であること
- ◆ 卵殻がしっかりとおり、割れたり、穴が空いたり、もろく多孔質でないこと:



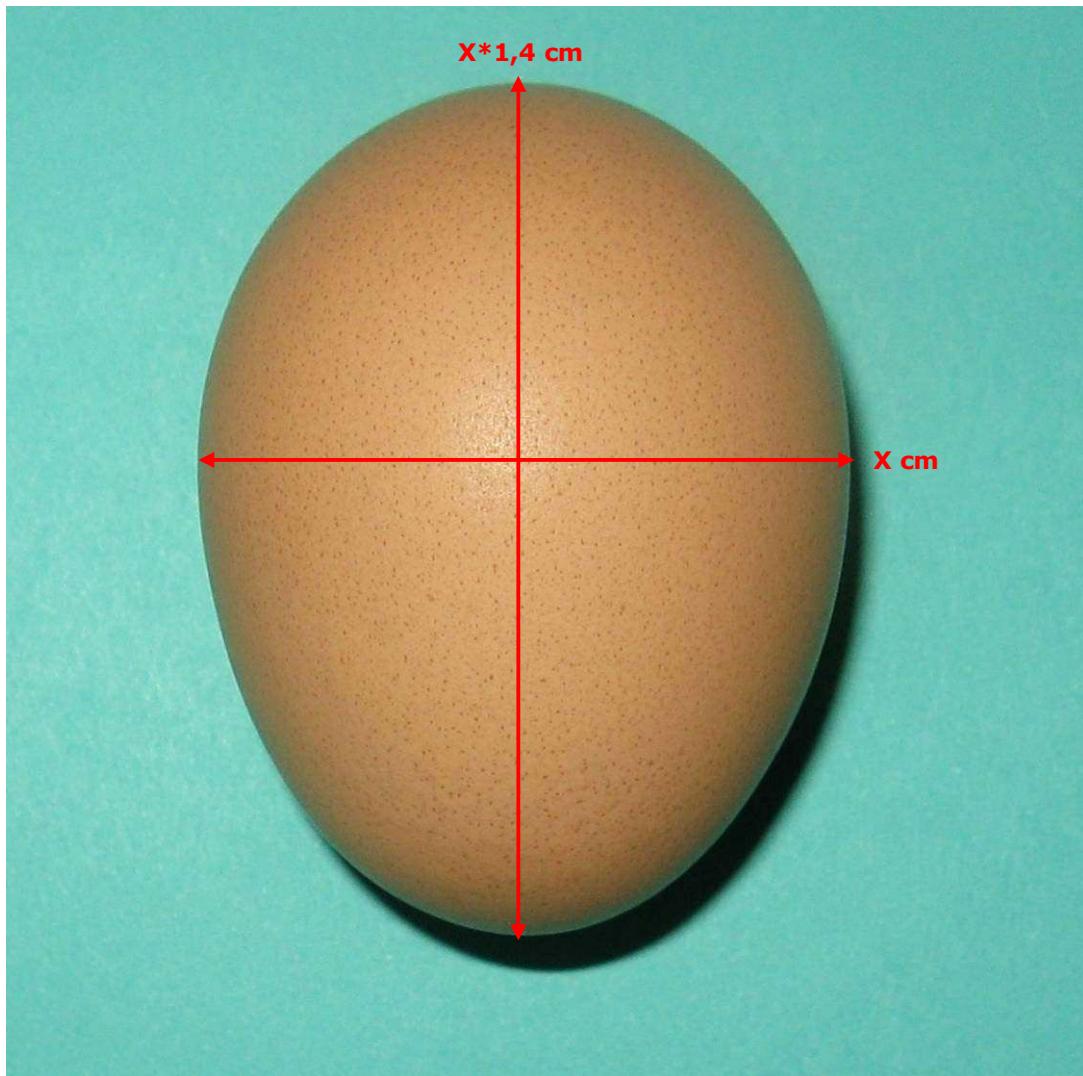
滑らかな卵殻



多孔質の卵殻

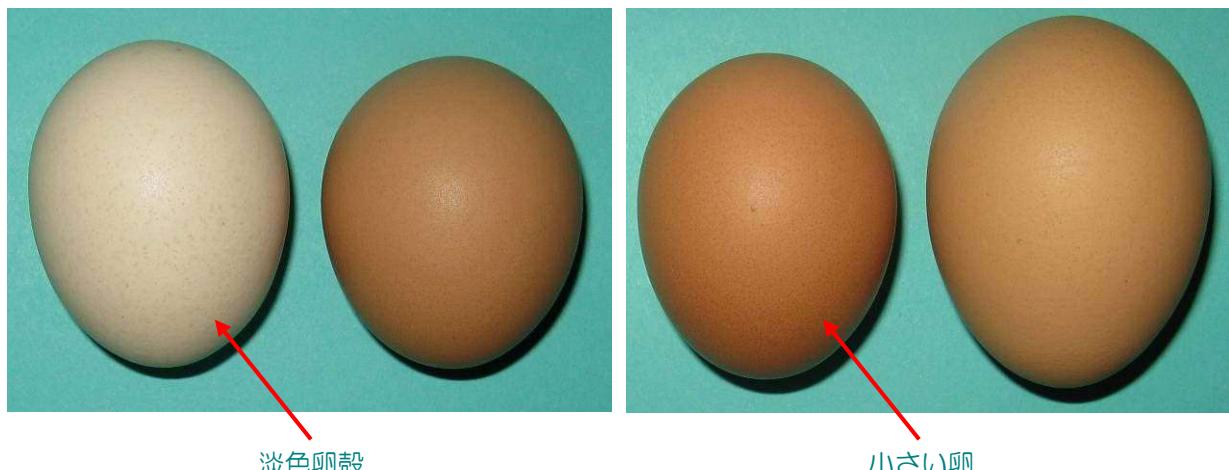
Selected eggs from the presentation by Dr. Eric Guinebert: From egg to chicken: miracle?, ITAVI, Rennes, SPACE 2004.

種卵

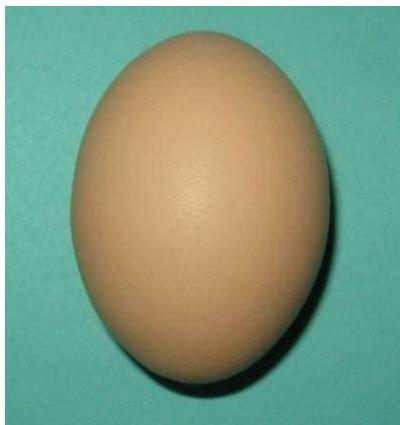


理想的な種卵

上記の基準を満たさない卵は、種卵として使用すべきではありません：



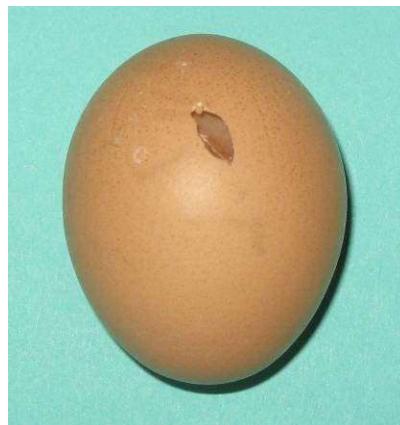
種卵



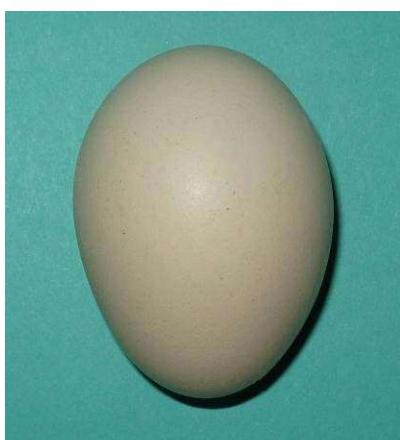
細長い卵



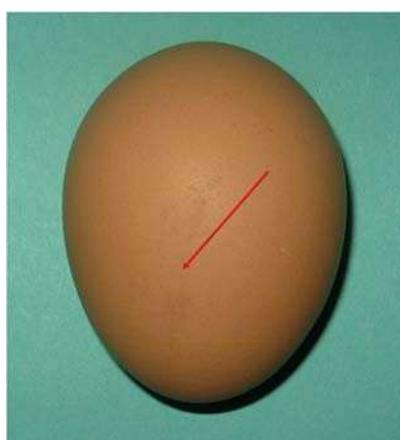
石灰化不良



穴の空いた卵殻



変形卵



微細なひび卵



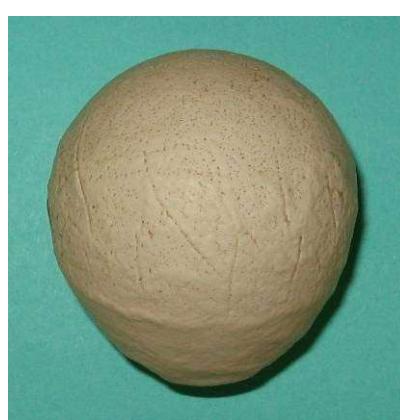
汚れた卵



丸い卵



着色した卵殻



しわのある卵殻

何らかの理由でこれらの卵を孵化させる必要がある場合は、識別し、別にセットして孵化させる必要があります。

種卵

→ 種卵の消毒

最適な品質の種卵を生産するためにあらゆる予防策を講じたとしても、汚染のリスクは常に存在し、無視することはできません。卵は気室が形成される過程で特に汚染を受けやすくなります。

気室の形成は卵が産まれた瞬間から始まります。卵の徐々の冷却により、成分（特に卵白や小端にある気孔）が収縮し、一種の吸引が生じます。周囲の空気が卵内に入り、卵殻膜の間に閉じ込められます。

卵に入る空気が、たとえば環境が不衛生である場合や、卵殻表面に付着した汚れ、チップ挽き粉、わらなどによって汚染されている場合、細菌や菌類が卵内に侵入し、外卵殻膜に付着する可能性があります。

汚染の程度は卵殻を検査した際にわずかであったり検出されないこともあります、ひなが孵化し始める瞬間に病原体は非常に速く増殖するため、いかなる汚染も非常に危険です

卵がまだ温かく、冷却されている間に消毒することが、細菌や菌類の卵内侵入を防ぐ最適なタイミングです。さらに、卵殻表面の消毒は、既に卵殻内に侵入した汚染物にはほとんど効果がありません。

卵が産卵された時の温度は、鶏の体温よりやや低く、約40°C (104.0°F) です。卵が周囲温度に達するまでには4~6時間かかります（外気温により変動）。この期間に気室が形成されるため、卵はこのタイミングで消毒されるべきです。

気室が形成される際の消毒効果を最大限に活かすために、卵を頻繁に収集すること（1日4~5回）が重要です。収集が少ないと消毒効率が低下します。

しかし、卵の収集や消毒の良い手法だけでは、清浄な高品質卵を保証することはできません。卵殻の品質が汚染防止に大きな役割を果たすため、消毒プログラムが最適となるようあらゆる対策を講じることが不可欠です。

いくつかの研究により、卵が細菌にさらされる時間の長さは、汚染防止において卵殻の厚さほど重要なことが示されています。比重が1.080以上であることが最適であることも示されています。

卵殻の品質と細菌の侵入

卵の比重	卵殻の品質	30分後の侵入率%	60分後の侵入率%	24時間後の侵入率
1.070	不良	34	41	54
1.080	平均	18	25	27
1.090	良好	11	16	21

Sauter E.A. and Petersen C.F. (1974)

→ 消毒方法

どの方法を選んでも、卵殻が清潔でなければ効果的な消毒はできません。消毒剤が有機物やほこりに存在する病原体に効果を発揮することは稀です。

主な消毒方法は以下の通りです：

噴霧法：

消毒剤を噴霧することは、細菌汚染のリスクを減らす効果的な方法です。この方法は、種卵をセッタートレイに直接収卵する場合に特に有用です。収卵時に卵の丸い上部に消毒剤を噴霧することができます。

最も一般的に使用される消毒剤は、第四級アンモニウム化合物、フェノール、過酸化水素、ヨウ素、グルタルアルデヒドを含むものです。一部の消毒剤は卵の気孔を塞いでしまうことがあり、その結果、孵化期間中の水分喪失が減少し、孵化率が低下する場合があることに注意してください。使用する製品の適合性を供給者に確認し、推奨される使用方法を正確に守ってください。

最大の効果を得るために、消毒液の温度が38°C (100.4°F) から48°C (118.4°F) の範囲であることを確認してください。消毒作業は、ほこりのない清潔な環境で行う必要があります。

燻蒸法：

これは最も広く用いられている方法であり、卵殻表面の汚染に対して最も効果的です。しかし、使用される化学成分や溶液の燃焼によって発生するガスは、卵殻の気孔内には十分に拡散しません。したがって、燻蒸は気室が形成される期間に行なうことが不可欠です。

燻蒸に使用できる製品は多数あります。最もよく使用されるものとその投与量は以下の通りです：

- ◆ パラホルムアルデヒド粉末：1立方メートルあたり8~10グラム
- ◆ ホルマリン（37.5%）および過マンガン酸カリウム：OIEは2段階の投与量を推奨しています
 - 1立方メートルあたりホルマリン53 mlおよび過マンガン酸カリウム35 g.
 - 1立方メートルあたりホルマリン43 mlおよび過マンガン酸カリウム21 g)
- ◆ 40%ホルマリンと過マンガン酸カリウムの混合：それぞれ45 mlおよび30 g m^3

ホルマリンの使用は、制限または禁止される場合があるため、現地の法律に従ってください。

ホルマリンと過マンガン酸カリウムの使用には特別な注意が必要です。耐熱性のある幅広の金属容器を使用してください。必ずホルマリンを過マンガン酸カリウムに加え、逆にしてはいけません。また、作業者は完全防護マスクを着用する必要があります。

ホルマリンの最大の殺菌効果は、周囲温度が24°C (75.2°F) ~35°C (95.0°F) 、湿度が85~90%のときに得られます。接触時間は20分とし、生成されるパラホルムアルデヒドガスは速やかに排出するか、アンモニウムを使用して中和する必要があります（使用するホルマリンの半量を容器に入れ、10~15分間処理）。

種卵

- ◆ ホルマリン、第四級アンモニウム化合物、過酸化水素を含む多くの製品が利用可能です。使用方法については供給者に確認してください。

UV-C型放射線:

これは主に水処理に使用される方法ですが、種卵の消毒にはあまり使用されません。

これは、おそらく正確な適用方法がまだ完全には定義されていないためです（胚に損傷を与える前に曝露する正確な時間は40秒から5分と幅があります）。卵をセッタートレイに直接集卵した場合でも、すべての卵のすべての面をUV-Cに曝露させる方法を想像するのは困難です。

卵を集卵してセッタートレイに置き、その後卵を回転させてすべての面をUV-Cに曝露させる自動消毒システムのみが推奨されます。

UV-C処理は、卵殻膜に付着して卵殻を通過する細菌や菌類に対して効果的である可能性がありますが、ほこりや有機物を透過するのは難しい場合があります。

UV-Cは250~275 nmの波長のみが殺菌効果を持ちます。

UV-Cに長時間曝露すると網膜を損傷する可能性があるため、目を保護することが重要です。

オゾン:

オゾンは、水道水の消毒、食品産業、食品保存にしばしば使用されます。

分子量が酸素や二酸化炭素とほぼ同じであるため、卵殻の気孔に容易に入り込むことができます。この特性により、卵殻膜に対して殺菌作用を持ちますが、作業者や胚にとっては不安定です。

オゾンは有毒、腐食性、可燃性であり、使用には厳重な安全規則が必要です。高濃度（3%）では孵化率に悪影響があります。100分の1の濃度で使用しても発育中の胚に悪影響があり、同時に殺菌効果は限定的です。

一部の研究者は、ホルマリンの代替としてオゾンの使用を推奨していません。

最適な使用方法はまだ明確に定義されていませんが、オゾンは二酸化物として自然に分解する傾向があり、細胞壁を通過して生体成分を酸化によって攻撃することが知られています。

オゾンの殺菌および抗ウイルス活性は知られていますが、最適接触時間や周囲温度についてはまだ十分に理解されていません。

洗浄:

これは間違いなく最良の方法のひとつですが、同時に注意を要する方法もあります。通常、卵を孵化器トレイに置いた直後に設置される自動洗浄機は、高圧ノズルを使用して卵殻全体を洗浄・消毒し、その後40~50°C（104.0~122.0°F）で噴霧・消毒します。

種卵

汚れた卵や巣外卵を含むほとんどの卵は、この方法で洗浄可能です。消毒剤や洗浄剤の選択には特に注意が必要です。特に塩素系消毒剤の中には、卵殻キューティクルと反応して効果を失いやすいものがあります。その他の消毒剤は、その組成により気孔を塞ぎ、ガス交換に影響を与える傾向があります。詳細は消毒剤の供給者に確認してください。

最適な効率を得るためには、消毒剤の有効成分濃度が作業中常に一定に保たれるよう、定期的なモニタリングと消毒剤の補充が重要です。卵洗浄設備を清潔に保ち、有機物の堆積を定期的に除去することも重要です。温かく湿った環境を作るため、卵洗浄機はシュードモナス属菌など多くの細菌が増殖する理想的な環境となります。卵を消毒するどころか、卵洗浄によって再汚染される可能性があるため、卵洗浄機の使用プロトコルは常に遵守する必要があります。

拭き取り、研磨、磨き仕上げ:

多くの農場では、卵殻についた木くず、糀殻、わら、糞などを、拭き取り、研磨、または磨き作業によって取り除いています。この方法が乱用されない限り、卵殻表面を清浄にする有効な手段となります。

1~2回の拭き取りで綺麗になる卵は、種卵として扱うことができます。逆に、2回以上拭いても汚れが取れない卵は、種卵として適しません。

グラスワール、ロックワール、または過度な磨き作業の使用は推奨されません。これらはキューティクルや卵殻の一部を損傷するためです。

貯卵

1980年代以降、最新のシングルステージ孵化技術が新たな基準を作ってきたことから、自然孵化条件を再現するための多くの意見や推奨事項が示されてきました。しかし残念ながら、卵の貯卵期間中に胚の生存に重要となるすべての生理学的要因について、私たちは依然として完全には理解できません。

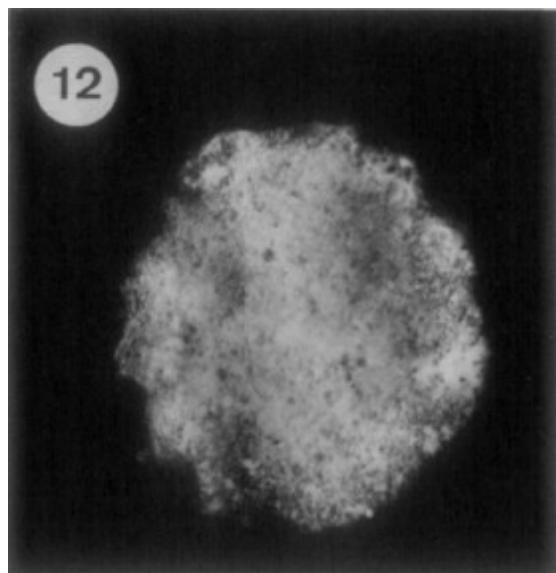
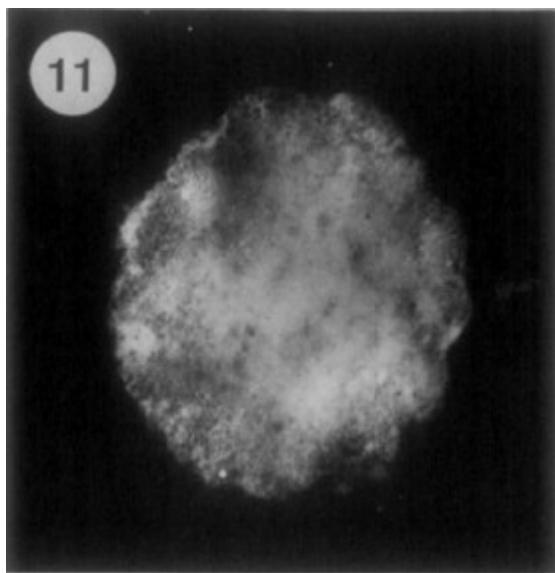
貯卵期間が7~8日を超える場合、孵化率、雛の品質、およびその後の増体（成長速度）に明らかな悪影響が生じます。

→ 排卵から産卵まで

卵は排卵後まもなく漏斗部で受精する。接合子の最初の割球分裂は、受精から約5時間後に子宮で始まり、その後さらに約11時間継続する。

胚の割球分裂は非常に多様なパターンを示すが、常に胚盤中央部に溝が形成されるところから始まる。最初の5~6回の細胞分裂は、この溝に沿って垂直方向に進む。やがて溝の下部が左右方向へと広がり、胚盤中央の細胞を卵黄から分離する。これが「胚盤下腔」の形成の始まりである。

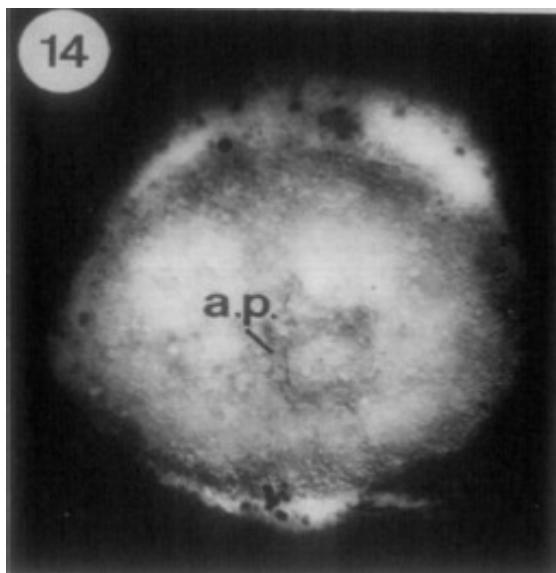
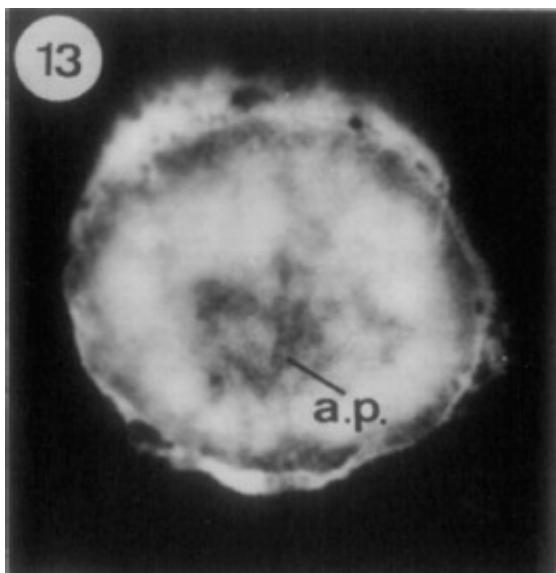
この時期、細胞分裂（有糸分裂）の速度は極めて速く、縦方向と横方向の分裂が交互に進む。約11時間の分裂過程を経て、卵黄上部の細胞質円盤は不透明な円盤状へと変化し、深さ約5~6層の細胞構造となる（Khaner O., 1993）。これは、Eyal-Giladi H. と Kochav S. (1976年) による分類のステージVIに相当する。



ステージVI胚発生の上面図（11）と下面図（12）胚盤の細胞質全体が分割され、細胞は極めて小さく均一に密集した層を形成している。発生ステージVIの段階では、胚は正式に「胚盤葉（プラストダーム）」と呼ぶことができる段階に至っている。（Eyal-Giladi H. and Kochav S., 1976）

透明帯（area pellucida）の形成はステージVIIで始まり、卵が子宮に入ってからおよそ12~14時間後に起こる。この時期、亜胚腔（sub germinal cavity）に面した一部の細胞が下方へと移動し始めるのが特徴である。この段階以降、胚の直径は規則的に増大していく。

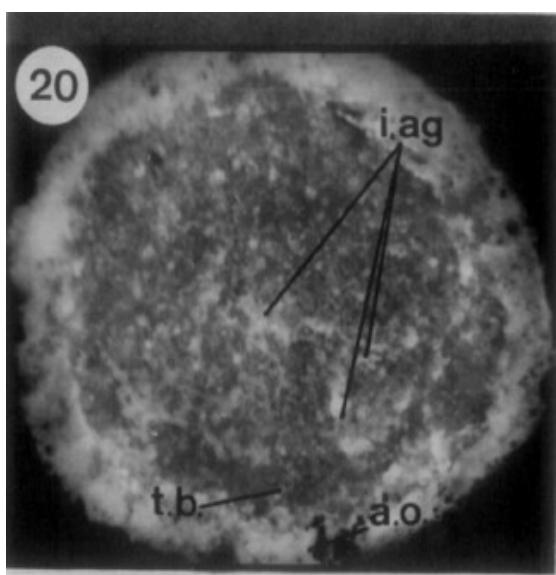
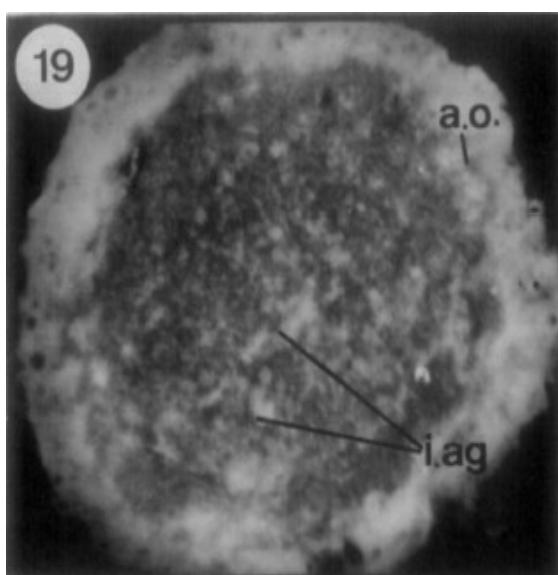
貯卵



胚発生ステージVIIにおける上面図（13）と下面図（14）。上部はそのまま保たれている一方で、下部では細胞の消失が起こっている。これは透明帯（a.p.）形成の開始を示している。（Eyal-Giladi & Kochav, 1976）

このプロセスはさらに約8~9時間続き、胚発生ステージXでは、透明帯（area pellucida）は1細胞層の厚みとなり、不透明帯（area opaca）も明確に区別されるようになる（Khaner, 1993）。

このステージの間、胚盤葉体（blastoderm）の下面では、細胞群の形成が確認される一方で、この変化に関与しない領域も存在する。これが原内胚葉（hypoblast）形成の始まりである。



胚発生ステージXにおける上面図（19）と下面図（20）。下面では孤立した細胞群（isolated cell aggregates : i.ag.）が現れ、とくに胚盤葉体（blastoderm）の後方部分で多く見られる。透明帯（transparent belt : t.b.）がこれらの細胞群と不透明帯（area opaca）を隔てている（Eyal-Giladi & Kochav, 1976）。

貯卵

通常、受精卵が産卵されるのは胚発生ステージXの段階である。この時点で胚は40,000~60,000個の細胞からなり、直径は3~4 mmで、前後軸が明確に形成されている。

しかし、この細胞数には変動をもたらす要因が存在する。Meijerhof R. (1992) は複数の研究の中で、産卵時の胚発生には母鶏群 (flock) の週齢が大きな影響を与えることを示した。すなわち、群の週齢が高いほど、産卵時の胚の細胞発生段階は進んでいる傾向がある。

体重もまた重要な役割を果たす。育成期間中に高体重となるよう選抜された系統のメス鶏は、低体重系統と比較して、より発生段階の進んだ胚を持つ卵を産む傾向がある。

産卵順序（クラッチ内の位置）も胚発生段階に影響を与える。一般に輸送時間（輸卵管通過時間）が長くなるため、クラッチの最初と最後に産まれた卵は、中央で産まれた卵よりも発生段階が進んでいる傾向がある。

ネストのタイプも重要である。人力回収型（手集卵）のネストで産卵された卵の胚は、自動集卵ネストやケージで産まれたものよりも発生段階が進んでいることが多い。これは、産卵後に温度が下がるまでの時間が長いためであり、ネスト材の保温性に加え、メス鶏がネストに長時間留まることが影響している。

しかし、産卵時点での胚発生ステージは、孵化期間中の胚の生存性に大きく影響する重要な要素である。

産卵時の胚発生段階と孵化率

前原腸期 (EG10未満)	進行原腸期 (EG10以上*)		孵化率	
	この胚発生段階にある胚の割合 (%)	この胚発生段階にある胚の割合 (%)		
30	70	>55 to >84		
62	38	<55		

(*) 胚発生ステージは、Eyal-Giladi H. と Kochav S. (1976年) の分類に基づく。

Reijrink I. ら (2008年) より改変。

さらに、胚が長期貯卵に耐える能力においても、この段階が極めて重要な役割を果たすと考えられている。多数の研究により、胚発生ステージXの胚は、ステージXII (Reijrink I., 2009) やステージXIII (Fasenko G.M. ら, 2003a) の胚と比べて、貯卵ストレスに対する耐性が低いことが示されている。

原内胚葉 (hypoblast) および外胚葉 (epiblast) がまだ形成中のステージXII、あるいは完全に形成されたステージXIIIは、孵化環境でのみ達成可能であると考えられる。

→ プレインキュベーション(PRESI)

自然状態では、メス鶏は卵を一定温度に保つ傾向はない。むしろ、新しい卵を産むたびに、その卵と以前に産んだ卵の両方を再加温する。

この短く断続的な抱卵期間 (broodiness) は、胚をより発達した段階へ導き、保管中に死んだ細胞の再生を促すことを目的としている可能性がある。プレインキュベーション (PRESI : プレ貯卵インキュベーション) は、この現象を再現しようとする手法である。

貯卵

このプロセスは、孵化場に到着した卵を冷蔵庫に入れる前に、直接孵卵器にセットし、37.7～37.8°C (99.9～100.1°F) の温度で6時間保持することから成り立っている。

当社の孵化場で実施された試験では、常に良好な結果が示されており（貯卵期間4～13日の卵で平均+4.1%）、他の研究者による結果はやや結論が得られにくいものであった。産卵時の胚発生段階、プレインキュベーション温度、および卵が産まれてからの経過時間はいずれも、この方法の成功に大きな影響を与える要因であると考えられる。

Fasenko G.M. ら (2003b) は、産卵後数日経過した卵に対するプレインキュベーションが、孵化率に悪影響を及ぼす可能性があることを報告している。

この技術は慎重に使用する必要がある。方法はまだ十分に定義されておらず、必ずしも有益な効果が得られるとは限らない。また、専用孵卵器が常時このプロセスに使われるため、実用上も必ずしも容易ではない。

→種卵の貯卵における物理化学的影響

「生理的ゼロ」（胚の発達が停止する温度）は、まだ明確に定義されていない。Decuypere E. と Michels H. (1992) はこのテーマについて詳細にレビューしている。研究者によっては20～21°C (68.0～69.8°F) と報告する者もいれば、25～27°C (77.0～80.6°F) 、さらに28～29°C (82.4～84.2°F) とする報告もある。

この生理的ゼロ温度の違いは、関連する組織の異なる要求や機能に関連している可能性がある。Wilson H.R. (1991) の研究では、胚を27～35°C (80.6～95.0°F) の範囲で保持した場合に、不均衡な発生が観察されており、これが間接的に示されている。

→ 貯卵中の水分損失

卵殻の気孔部分を覆う有機キューティクル (cuticle) は、ひび割れや溝に満ちた層を形成しており、卵が経過するにつれてこれらが拡大し、卵と周囲の空気との間のガス交換を可能にする。

水分損失は蒸発によって生じ、その程度は貯卵期間、周囲の温度・湿度、卵殻の表面状態および多孔性によって決まる (Sauveur B., 1988)。

初期段階では、蒸発は卵殻膜から始まり、その後卵白からも蒸発が起こる。水分損失が卵白の粘性に悪影響を与える可能性が指摘されているが、蒸発、pH、卵白密度との間に直接的な関係はまだ確立されていない。

Meijerhof R. ら (1994)、および Reijrink I. ら (2008) によるレビューによると、保管中の水分損失は、周囲湿度が55～75%の範囲で変化してもほとんど影響を受けないことが示されている。それにもかかわらず、貯卵中の水分損失は制限すべきであり、週あたり0.8～0.9%の範囲に収めることが一般的に推奨されている。

→ 卵白への影響

「濃い」卵白の密度は、オボムチン（特にそのサブユニットβ）トリゾチームとの間の静電的結合の程度によって決まる。卵白中の二価力チオン（マグネシウムおよびカルシウム）が結合因子として作用する。

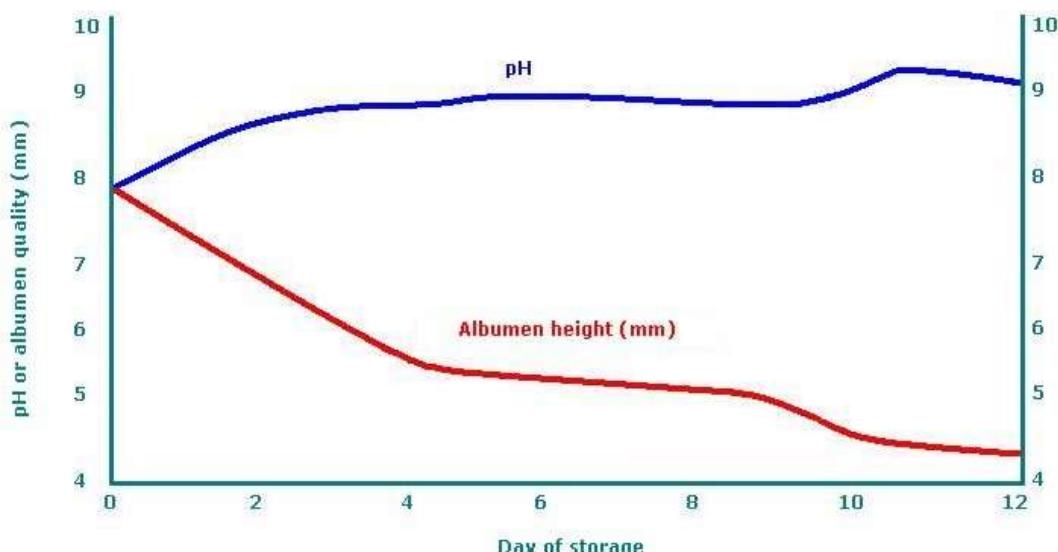
卵白の密度はpHに大きく依存しており、群の週齢や卵重の増加にかかわらず自然に低下する傾向がある。卵白の密度は、ガス交換および胚への栄養素輸送において重要な役割を果たしていると考えられる。

貯卵

卵が産まれた後、卵白中のCO₂は徐々に放出される。CO₂の損失速度は、卵白の緩衝能力（pHが7.0～9.0の範囲で最小となる）だけでなく、周囲温度、卵殻の透過性、貯卵期間、および卵周囲のガス環境にも依存する。

これらの要因により、卵白のpHは上昇する。産卵直後のpHはおよそ7.6で、数日後には9.0～9.2まで上昇する。

貯卵期間中の卵白pHおよび濃卵白高さの変化



Adapted from Van de Ven L. (2003)

pHの上昇は非常に重要であり、かつ必要である。それは、初期胚発生がpH依存性酵素によって制御されるため (Decuypere E. ら, 2001) だけでなく、アルカリ性のpHが胚を潜在的な細菌汚染から保護するためでもある。

興味深いことに、pHの大部分の上昇は最初の3～4日間に起こる。これにより、短期間保管された卵が、産卵当日に孵化させた卵よりも孵化率が高くなる傾向が説明できる。卵白の分解によるpHの上昇は、ガス交換や胚への栄養素輸送を促進する (Lapão C. ら, 1999)。

これは特に、若い母鶏群の卵に当てはまる。若い母鶏群の卵白密度は高く、これは部分的に、産卵時の卵白pHがやや低めであることによる。

鶏群の週齢	産卵日の卵白pH	産卵日の卵白高さ (mm)
32	8.08 ± 0.02	7.74 ± 0.29
42	8.19 ± 0.02	7.44 ± 0.29
54	8.23 ± 0.02	7.06 ± 0.29
59	8.30 ± 0.02	6.28 ± 0.29

Lapão C. et al, (1999)

貯卵

興味深いことに、保管開始時のpHがどの値であっても、産卵後4～5日でおおよそ9.0～9.2の同じレベルで安定する傾向がある（Lapão C. ら, 1999）。長期保管によってpHがさらに上昇することはない。

このpH上昇による最もよく知られた影響は「水っぽい卵白（watery albumen）」である。卵白の高さはハウユニットで測定され、時間の経過とともに指數関数的に低下する。

→ 卵黄への影響

卵が産卵された時点で、卵黄のpHは6.0～6.3である。その後、徐々に上昇し、6.5～6.8程度で安定する（Reijrink I. ら, 2008）。

貯卵中、卵黄の物理化学的变化は卵白と同じ基準によって影響を受ける。pHの上昇により、以下の变化が生じる：

- ◆ 卵黄膜が弱くなる（カラザの構成と類似）。
- ◆ 卵白と卵黄との間の高い浸透圧により、多量の水分が卵白から卵黄に移行する（卵黄には親水性タンパク質を含む）。
- ◆ 二価カチオンが卵黄に移行し、「水っぽい」卵白の進行を加速する。
- ◆ 粘度の低下および卵黄構造の変化（卵黄の高さと幅の関係により形状を失う）。

これらの変化が特定の原料、抗コクシジウム剤、さらには一部の抗寄生虫薬の摂取によってより早く進行すると、卵黄表面に斑点が現れることがある。これを「まだら（mottling）」または「マーブル状（marbling）」と呼び、産卵直後の卵でも確認できる場合がある（Sauveur B., 1988）。

貯卵後の観察：

- ◆ 卵黄中の水分が異常に多くなる。
- ◆ 卵黄から卵白への鉄分の移行により、卵白がピンク色を帯びる。
- ◆ 卵黄へのタンパク質の侵入により、卵黄がサーモン色になる。

卵黄の密度が軽くなるため、卵白の液化は卵黄の位置にも影響し、通常貯卵条件では気室がある卵の上部に移動する。この結果、脱水や酸化のリスクにさらされ、胚の生存に悪影響を及ぼす可能性がある。

→ 胚への影響

貯卵中、卵白のpHはおおよそ7.6から9.0～9.2に急速に変化する。これにより、卵黄膜（カラザを含む）の透過性が徐々に増加する。卵黄膜は保管中および胚の付属器官が形成され始める最初の2～3日間の孵化初期まで、胚を保護する役割を果たす。

卵黄膜のこの弱化により、胚は高アルカリpHにさらされることになり、これが初期胚死亡の原因であると考えられている（Reijrink I. ら, 2008）。

Gillespie J. および McHanwell S. (1987、Reijrink I. ら, 2008レビュー) は、孵化初期の数時間における細胞外空間のpHを測定したところ、7.9～8.4の範囲で変動していた。以前の研究では、線維芽細胞の移動がpH 8.2で最適であることも示されている。したがって、孵化初期の数日間における胚発生に最適なpHは7.9～8.4の間であると考えられる。

貯卵

Sauveur B. ら (1967) および Walsh T. (1993) の研究 (Brake J. ら, 1997レビュー) でも同様の結果が示されている。胚の最適な発生には、卵白のpHが8.2~8.8であることが望ましい。

胚がさらされる高pH（卵黄と卵白の間でおおよそ3単位の差）は、胚の発生に必要であると考えられている (Brake J. ら, 1997)。これは、胚自身のpHが時間とともに変化することを意味するわけではない。胚がどのpHレベルにさらされても、胚のpHは貯卵期間中ほぼ安定している。

このとき、産卵時の胚発生段階のレベルが重要となる。発生があまり進んでいない場合、代謝とCO₂生成の影響により、胚は適切なpHレベルを維持できない。胚は、より進んだ発生段階にある方が安定した環境で成長できると考えられる。

胚発生とpHの影響は、より複雑である。多数の研究により、産卵時に観察されるpHに近いレベル、すなわちCO₂を豊富に含む環境に曝露することで得られるpHレベルは、孵化成績に悪影響を与えることが示されている。CO₂の使用は、卵白のpHを貯卵初期の3~5日間で観察されるレベルに近づける場合にのみ有益であるようである。

温度は胚に重要な影響を与える。たとえ卵が「生理学的ゼロ」以下の温度で保たれ、貯卵中に大きな形態変化が観察されなかったとしても、貯卵期間や温度が増加すると、アポトーシス細胞（自己破壊プロセスを開始する細胞）や壞死細胞の発生率が増加する傾向がある。

Arora K. および Kosin I. (1968、Reijrink I. ら, 2008レビュー) は、21日間貯卵した卵で、貯卵温度が10°C (50.0°F) を超えると有糸分裂および壞死のレベルが増加することを観察した。また Bloom S. ら (1998、Reijrink I. ら, 2008レビュー) は、アポトーシス細胞の割合が、産卵時の3.1%から12°C (53.6°F) で14日間貯卵後には13.9%に増加することを報告している。

→ 貯卵条件

→ 温度

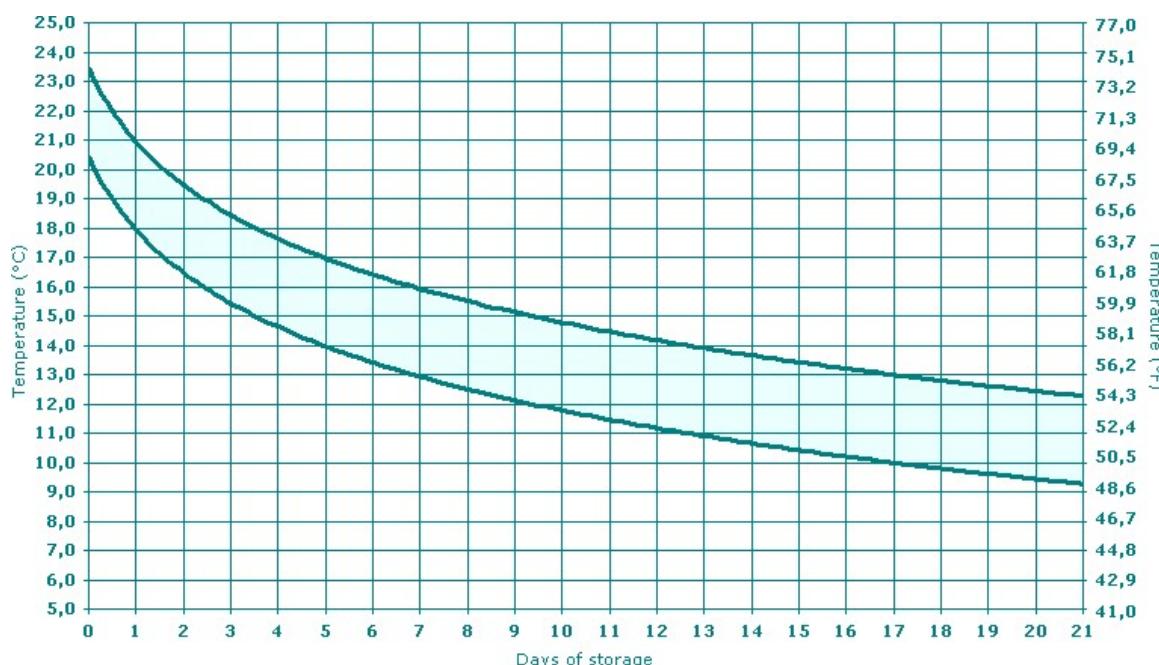
前述の段落は、貯卵中の胚の生存において温度が重要な役割を果たすことを示している。主なポイントは以下の通りである：

- ◆ 卵が徐々に冷却されることで、胚は長期貯卵に耐えられる発生段階に到達する。
- ◆ 短期貯卵では、「生理学的ゼロ」よりやや低い温度に保つことで、卵白の一部分解が進み、胚への栄養供給が促進されるが、卵黄膜には大きな影響を与えない。
- ◆ 貯卵期間が長くなる場合、より低温に保つことで、アポトーシス細胞および壞死細胞の数を大幅に減少させることができる。

これに基づき、以下の推奨事項が導かれる：

貯卵日数

貯卵中の温度変化



Brakeら（1997）の研究によても、このことは裏付けられている。14日以上の長期貯卵では、約12°C（53.6°F）に保った場合に最も良好な孵化結果が得られる。一方、8日間の貯卵では15°C（59.0°F）の方が良好であり、2日間の短期貯卵では18°C（64.4°F）が最適である。

→ 湿度

貯卵中の湿度は、胚の生存に対して決定的な役割を持たないことが示されている。しかし、次の2つの例外がある。

- まず、Walshら（1995）は、23.9°C（75.0°F）で14日間貯卵した場合、水分損失が増加し、心化率が低下することを観察している。Jinら（2011）の研究でも同様の結果が示されており、29.0°C（84.2°F）で貯卵した場合、水分損失は貯卵5日目の1.74%から貯卵10日目には3.67%へと急速に增加了。
- 次に、貯卵7日目以降に低温で貯卵する場合、胚の過度な脱水を防ぐために必要な湿度レベルを空気中に確保することが難しくなる場合がある（Brake J. ら, 1997）。

実際には、卵殻のガス透過性が時に高すぎる場合や、卵白の質が不十分な場合があるため、低湿度の影響を大きく受けやすいのは老鶏母鶏群の卵だけである（Brake J. ら, 1997）。

これらの点を踏まえても、貯卵中の水分損失は最小限に抑えることが推奨される。理想的には、1週間あたり0.8~0.9%に維持するのが望ましい。

→ 転卵

貯卵期間中に卵を転卵することは、多くの孵卵場で実施されている。

貯卵

Deeming D. (2000) は、転卵によって胚が新たな栄養源に触れることが可能となり、それが長期間の貯卵に対する耐性向上につながると示唆している。転卵を行わない場合、胚は常に同一環境にさらされ、胚自体の代謝によってより早く死滅する可能性がある。

したがって、転卵は胚が新たなエネルギー源へアクセスすることを可能にするのである。

しかし、別の理論も存在している。一般的には、転卵によって胚の過度な脱水や酸化を防ぐことが認められており（卵黄が卵殻膜に付着しにくくなる）、これが胚を保護すると考えられている。

それにもかかわらず、転卵の効果については依然として不明確な点が残っている。Proudfoot F. (1966) は、50°の角度で貯卵し、毎日180°転卵した卵は、無転卵の卵よりもふ化率が高いことを観察した。貯卵期間が長くなるほど転卵の効果は重要となり、14日未満の貯卵では効果がほとんど、もしくはまったく見られなかった。一方で、21日以上の貯卵では効果が確認されている。

Elibol O. ら (2002) は、貯卵中の転卵は老鶏の母鶏群由来の卵に対して特に有益である一方で、若い母鶏群の卵については、貯卵期間（試験では3日、7日、14日）に関係なく、その効果はごくわずかであることを示した。

Mahmud A. および Pasha T. (2008) の結論も同様であり、貯卵期間中に1日6～8回転卵しても、32週齢の母鶏群由来で5日間貯卵した卵には効果が認められなかった。

さらに Sauveur B. (1988) は、貯卵期間中の転卵が結果を有意に改善したという証拠はこれまで存在しないとまで述べている。

したがって、転卵を広く推奨することはあまり現実的ではない。しかしながら、Elibol O. ら (2002) の結果は理にかなっており、老鶏の母鶏群由来の卵については転卵を行うことを再検討する価値があるようである。

→ 貯卵（鋭端を上にして保管）

この点に関する研究は少ない。Sauveur B. (1988) は、尖端を上にして貯卵することが長期貯卵に有利であると報告している。Deeming D. (2000) は、尖端を上にすることで黄身が卵白と接触したままとなり、胚が殻膜から離れて保護されることを観察している。

当社の孵化場で行った試験では常に良好な結果が示されており、14日以上紙やプラスチック製のトレイで貯卵する場合には、この方法を検討する価値がある。

気室を損なわないよう、卵の取り扱いには注意を払う必要がある。

→ 大気環境の管理

貯卵中に卵のガス環境を調整する技術には以下がある：

- ◆ 酸素を部分的に窒素で置換して酸化のリスクを減らす技術
- ◆ 周囲のCO₂濃度を高め、卵白からのCO₂損失を抑える技術

貯卵

窒素が貯卵中の胚生存に及ぼす影響は不確かである。Proudfoot F. (1965, 1972、Reijrink I.ら、2008によるレビュー)によると、窒素を使用すると空気中の酸素濃度は約4%まで低下するが、同時に卵黄と卵白のpHを安定させる傾向があり、これが孵化率に良い影響を与える可能性がある。しかし、Reijrink I.ら (2010a) は、16°Cで14日間貯卵した卵を95.8%窒素環境下で試験したところ、ポジティブな効果は認められなかった。

CO₂の影響はより議論が分かれる。Meijerhof R. (1992) は、多くの研究者がCO₂の使用で正の効果は認められず、むしろ負の影響の進行を遅らせるに過ぎないことを報告している。Reijrink I.ら (2008) も同様の結果を観察した。研究者が卵白のpHを産卵時のレベルに維持しようと試みても、孵化に正の効果は確認されなかった。

一方、卵をプラスチック製のクライオバックに入れる方法は、多くの場合有効であることが示されている。これは、湿度とCO₂濃度の上昇、酸素濃度の低下によって卵白のpHを貯卵後3~5日目に通常観察されるレベルに近づける効果がある (18ページ参照)。

→ 推奨事項

貯卵の期間と条件

	貯卵期間						
	1-2 日	3-4 日	5-6 日	7-8 日	9-12 日	13-16 日	17-20 日
温度	19.0°C (66.2°F)	17.0°C (62.6°F)	15.5°C (59.9°F)	14.0°C (57.2°F)	12.5°C (54.5°F)	12.0°C (53.6°F)	11.5°C (52.7°F)
相対湿度 (%)	70.0	80.0	85.0	90.0	90.0	90.0	90.0
転卵	No	No	No	No	Yes	Yes	Yes
鋭端 上向き	No	No	No	No	No	Yes	Yes
バッグ使用	No	No	No	No	No	Yes	Yes

→ 貯卵が孵化期間に与える影響

一般的に、貯卵は総孵化期間を延長させると考えられています。これは主に、胚の発育が遅れること（貯卵1日あたり平均45~50分の遅れ）および孵化初期48時間の胚の成長速度が低下することによるものです (Sauveur B., 1988)。

Fasenko G.M. (2007) の研究でも同様の現象が観察されました。Arora K. と Kosin I. (1966) は、長期間貯卵された卵は孵化温度に上げられてもすぐには発育を開始しないことを示しました。Mather C. と Laughlin K. (1977) は、14日間貯卵された卵と新鮮卵を比較したところ、胚の発育は12.2時間遅れることを報告しています。また、孵化初期の胚発育が非常に遅いことも観察されました。

Fasenko G.M. (2007) の研究では、14日間貯卵された卵の胚発育は新鮮卵よりも約6時間遅れて開始することが確認されました。これは、孵化温度に対する胚ごとの反応にばらつきがあることを意味し、発育が早く始まる胚もあれば、著しく遅れる胚も存在することを示しています。

貯卵

このばらつきの原因是完全には解明されていませんが、卵が産卵された時点での胚の発育段階が最も可能性の高い要因であると考えられています。すなわち、発育が進んでいる胚ほど、孵卵温度に対してより迅速に反応する傾向があります。

貯卵は孵化期間の長さに影響を与えるだけでなく、胚死亡率やヒナの品質にも影響を及ぼします。

しかし、母鶏群の週齢に対する貯卵の影響はまだ明確には特定されていません。Yassin H. ら (2008) および De Lange G. (2009) は、長期貯卵が若い母鶏の卵により影響を与えることを報告しています。一方、Meijerhof R. ら (1994、Reijrink I. ら 2010bによるレビュー)、Lapão C. ら (1999)、Elibol O. ら (2002)、Tona K. ら (2004) の研究では、母鶏群が老鶏の場合の方が貯卵による影響が大きくなることが示されています。これは、厚い卵白の密度が低いためだと考えられています。

貯卵は孵化結果だけでなく、ひなの品質やその後の成長にも影響を及ぼすため、貯卵およびその後の孵卵条件を完璧に管理することが非常に重要です。

孵化 セッター

→ プレヒーティング

前節から明らかなように、貯卵の条件や期間は、卵の物理化学的性質の変化、胚の発育および生存、ひいては孵化成績に大きな影響を及ぼします。

初めに考えられるのは、予熱（プレヒーティング）が貯卵の影響を補償するということですが、実際には逆であり、予熱は貯卵による悪影響を最小限に抑える効果があります。この効果は以下の3つの方法で達成されます：

- ◆ 貯卵中に死滅した細胞の再生を促進する。
- ◆ 孵化開始前に胚の発育をより良く調整する。
- ◆ ハッチウィンドウを縮小し、ひな質を向上させる。

使用される予熱法は孵化場によって異なる場合がありますが、いずれも細胞の成長を促進する温度まで徐々に温度を上昇させることを基本としています。Funk E. と Biellier H. (1944年、Reijrink I. ら 2010b によりレビュー) は、卵内部温度が27°C (80.6°F) 以上になると胚の形態学的発育が進むことを示しています。

したがって、予熱の目的は、胚の大部分が同じ発育段階に到達できるよう、十分な期間にわたって細胞成長を促進する温度まで卵を加温することです。

予熱（プレヒーティング）のための条件

		温度	温度	期間
セッター前（温度管理あり、空気の動きは最小限）		25-27°C (77.0-80.6°F)	50-55%	最低 12 時間
セッター内		25-27°C (77.0-80.6°F)	50-55%	最低 8 時間

Reijrink I. ら (2010b) の研究では、予熱条件をさらに詳しく調査しました。2つの予熱方法を比較したところ、有益な効果が認められたのは、貯卵期間が一貫している場合のみでした。

貯卵期間	予熱方法	受精率 (%)	孵化率 (%)	対熟卵孵化率 (%)	死卵率 (%)
4 日	19.0 → 37.8°C (4時間)	95.6	88.6	92.7	7.13
	19.0 → 37.8°C (24時間)	95.0	88.9	93.5	6.34
13 日	19.0 → 37.8°C (4時間)	93.6	68.5	73.2	26.68
	19.0 → 37.8°C (24時間)	92.1	72.6	78.9	20.87

Reijrink I. et al (2010b) より改変

孵化 セッター

この結果は Mahmud A. と Pasha T. (2008) の研究結果とも類似している。これらの研究者は、卵の貯卵期間が短い場合には、予熱（preheating）による効果は見られないことを示した。

→ 孵化温度

胚の発生は本質的に温度によって制御される。これは、孵化条件を決定する上で最も重要なパラメータの一つである。

→ 胚からの発熱

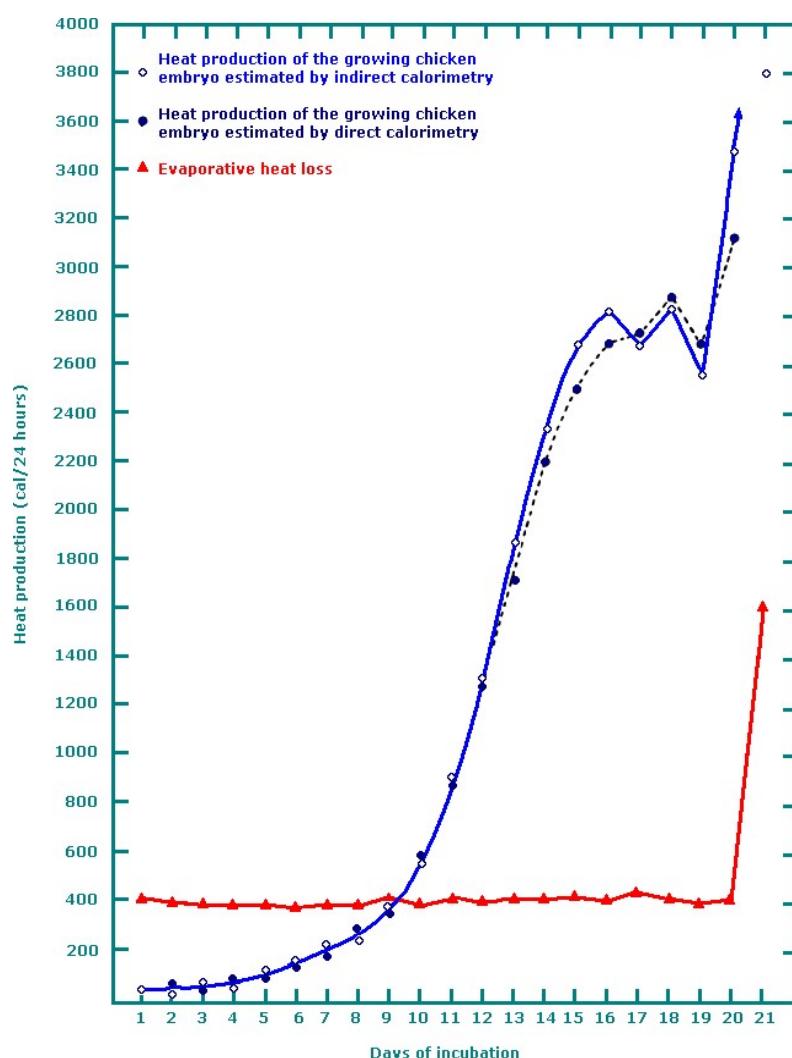
一般に、胚の発生中には二つの重要な期間があると考えられている。

- 孵化初期の内熱期（endothermic）：孵化開始から約8～9日間続く。

- 孵化末期の外熱期（exothermic）：孵化終期の約7～8日間。

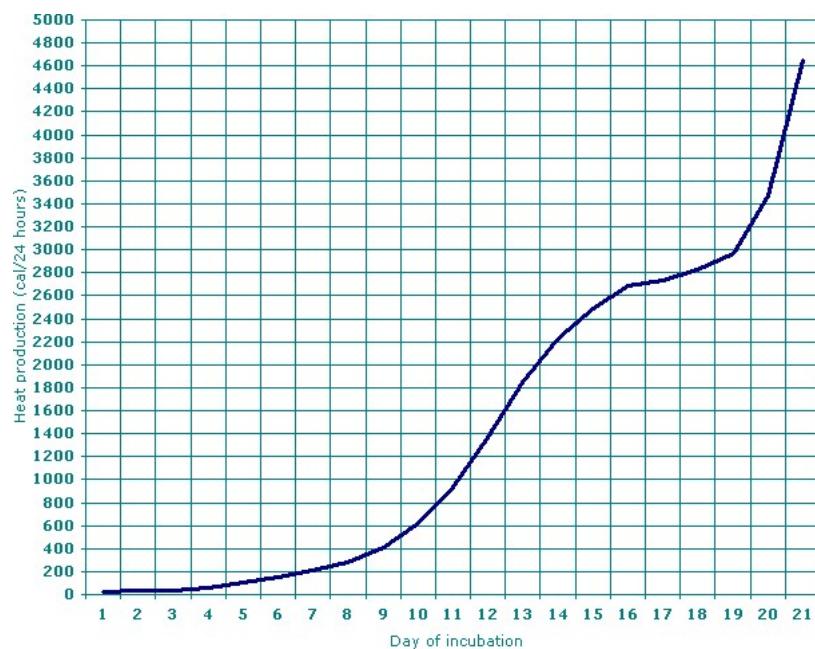
両者の間には「等温期（isothermal）」と呼ばれる非常に短い期間が存在することもある。

Romijn C. と Lokhorst W. (1960) は、胚からの発熱量を初めて測定した。



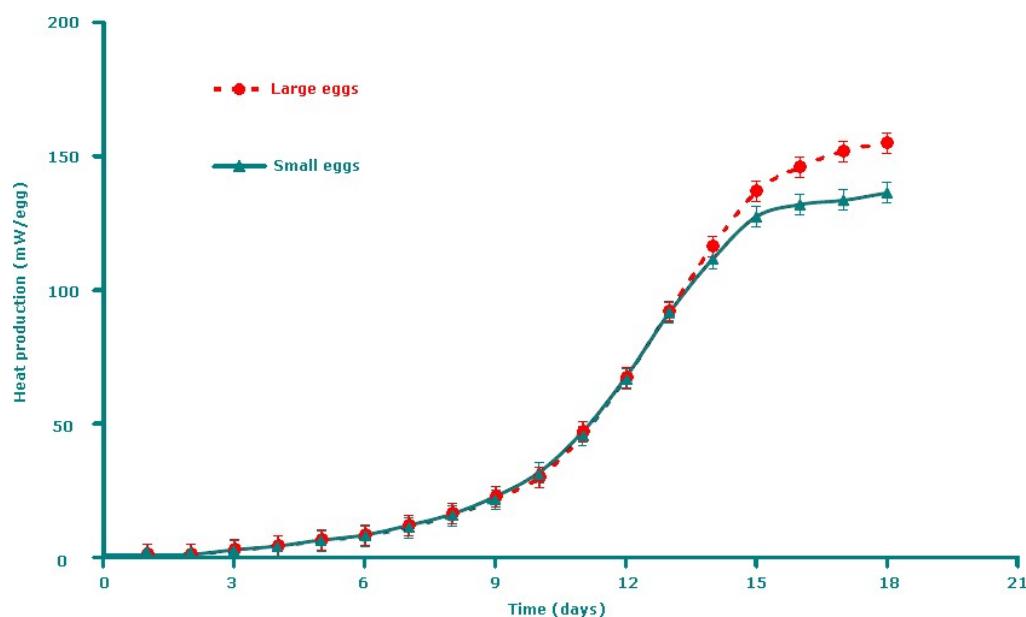
孵化 セッター

彼らの観察結果は Sauveur B. (1988) の見解と一致しており、その一部は Romanoff A.L. (1967) の研究に基づいている。



この2つのグラフの間にはわずか7年しか差がなく、スケールや数値も比較可能である。しかしその約40年後、Lourens A. ら (2006) は、胚の発熱に影響を及ぼす主要因として、次の2点を新たに示唆した。

- ◆ 品種の増体ポテンシャル
- ◆ 卵重



孵化 セッター

スケールは異なっており ($1 \text{ cal}/24\text{時間} = 0.048425925 \text{ mW}/\text{卵}$)、商用系統の品種は、孵化後期において「伝統種」とされる品種よりも約20%多くの熱を発生していると結論づけることができる。これは Boerjan M. (2005) の研究によって裏付けられている。

**商用プロイラー、採卵鶏、そして“伝統種”であるノースホーランドブルーの
代謝熱産生量 (W/1000卵)**

孵化日数	ファスト グロース (プロイラー)	採卵鶏(白色)	伝統的な鶏種
17	151.2	133.2	130.0
18	156.6	130.2	137.0
19	164.4	127.2	124.0
20	252.0	130.8	169.0

Adapted from Boerjan M. (2005)

孵化プログラムは品種ごとの増体ポテンシャルを考慮すべきであり、増体ポテンシャルの異なる品種の胚を同一の孵卵機で孵化させる場合、すべての胚の要求を満たすことは不可能であると考えられる。

しかし、Lourens A. ら (2006) およびそれ以前の研究では、卵重の重要性が明確に示されている。孵卵中に卵殻温度を一定に維持したところ、孵卵後半において、大きな卵（試験では平均70g）は、小さな卵（試験では平均56.1g）と比較して、孵卵機の温度調整をあまり必要としないことが観察された。

これは、大卵では孵卵14～15日目以降に胚の成長が加速することを示唆している。

これらの観察結果は Wilson H.R. (1991) の報告と一致しており、同氏は孵卵前半において胚重が卵重と相關しないことを確認している。

したがって、大卵は小卵とは異なる要求を持ち、同一条件で孵化することはできないと考えられる。

→ 胚が受け取る熱

胚が受け取る熱という概念は、胚が産生する熱とは異なる。前者は卵殻の質を含む周囲環境に大きく依存するのに対し、後者は胚の代謝そのものに起因する内的要因である。

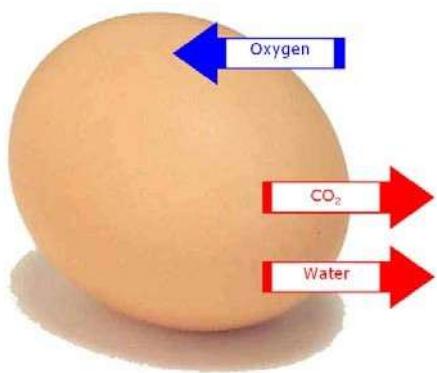
すでに述べたように、胚発生には吸熱期と発熱期の2つの段階が存在する。胚が受け取る熱は、孵卵機が加温（温度上昇）あるいは排熱（温度低下）を行う能力に左右される。主な要因は次の4点である。

- ◆ 卵殻の伝導率
- ◆ 卵と周囲環境との温度差
- ◆ 空気の比熱容量
- ◆ 空気速度

卵殻伝導率：

好気的条件下では、胚の主要なエネルギー源は卵黄に含まれる脂質である。これらの代謝により水分やCO₂が生成されることがあり、これらは卵殻の気孔を通じて排出されなければならない。

孵化 セッター



卵殻伝導率とは、胚の代謝に必要な酸素とその副生成物（水およびCO₂）を拡散させる卵殻の能力にすぎない。

これは卵殻気孔の有効面積と卵殻の厚さに依存し、孵卵条件には左右されない。

また、ガスが交換される速度を表すものではない。速度は、卵と周囲環境との濃度勾配の差にのみ依存する。

卵殻伝導率は、孵卵後期に胚が熱を排出しやすいかどうかを決定するうえで非常に重要である。卵殻伝導率が高い卵は、伝導率が低い卵と比較して、より高い孵卵温度に耐えることができる。伝導率の低い卵は、より低い温度で別々に孵卵するべきである。

卵殻伝導率は卵サイズと線形関係で増加するわけではないため、大卵では胚が産生する熱を排出するのが常に難しい場合がある（French N.A., 1997）。

卵殻伝導率を制御する要因は十分に解明されていない。同一群で同一の給餌・環境条件下でも、結果は依然としてばらつくことがある。Visschedijk A. ら (1985) の研究 (Molenaar R. ら 2010 によりレビュー)によれば、同一群の同一日産卵卵における卵殻伝導率の変動係数 (CV%) は最大22%に達し、卵重の変動の約3倍であった。

それでも、群の均一性を最適化することは、卵殻品質の最適化に有用な手段である。

卵と周囲環境との温度差:

熱交換の速度は、基本的に卵とその直近環境との温度差に依存する。孵卵初期8~9日間は、胚の発熱量よりも蒸発による熱損失の方が大きいため（24ページ参照）、孵卵器の設定温度は胚温よりも高く設定する必要がある。

逆に、孵卵9~10日目以降は、胚の発熱量が蒸発による熱損失を上回る。このため、孵卵器の設定温度は胚温よりも低く設定する必要がある。

空気の比熱容量:

空気の比熱容量は相対湿度によって決まる。空気が乾燥している場合、熱の伝導性は低くなる。一方、湿った空気は、孵卵機内でより均一な温度分布を可能にする。

孵卵開始時には、やや高めの湿度を使用する方が熱をより均一に分布させることができ、胚の発育をより均一にする。加湿器を常時使用する代わりに、湿度の上昇は換気口を閉じることで達成するのが最も効果的であり、これにより卵自体からの受動的な蒸発が促される。

孵化 セッター

空気速度:

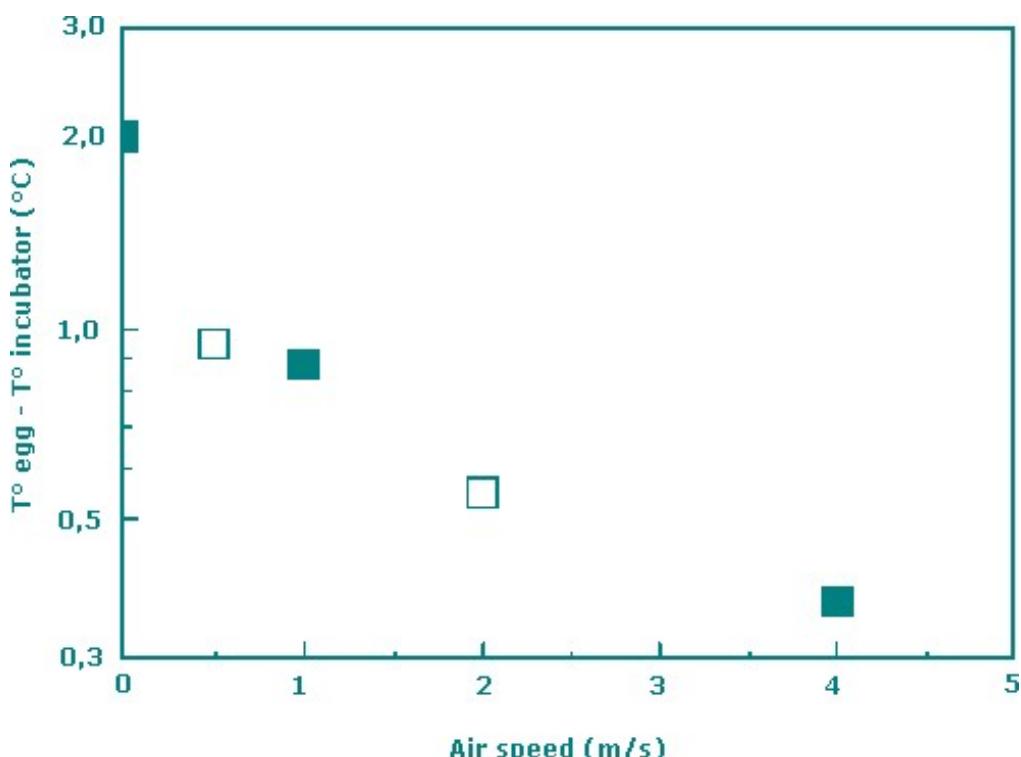
卵が周囲環境と熱を交換する能力は、卵の質量や卵殻伝導率だけでなく、卵を取り巻く空気温度にも依存する。これを卵の熱伝導率と呼ぶ。

この熱伝導率は卵の周囲の空気速度に大きく依存し、孵卵機内の他の卵の発育段階にも影響される（シングルステージ孵卵機では同一段階、マルチステージ孵卵機では異なる段階の発育）。

Sotherland P. ら (1987, French N.A., 1997 にレビュー) によれば、卵を取り巻く空気は熱交換の障壁にもなりうる。この障壁は卵自身よりも最大で100倍も熱交換を妨げる可能性がある。そのため、卵を取り巻く空気の速度が十分であり、卵周囲の空気バリアを破壊することが重要である。

孵卵中の水分損失に対する空気速度の影響は無視できるため、理論的には空気速度に上限はない。しかし同一孵卵器内でも空気速度は0.2~0.3 m/sから3~4 m/sまで変動しており、気流が低い場合には卵と周囲環境との温度差が大きくなることは明らかである (French N.A., 1997)。

卵と孵卵機間の温度差に対する空気速度の影響



対数スケール。50gの孵化卵と代謝熱産生量100 mWを用いた、Soetherland P. ら (1987, □) および Meijerhof R. と van Beek G. (1993) のモデルに基づく推定値 (French N.A., 1997)。

孵卵器内の気流の均一性は、空気が機械内で遭遇する障害物に依存する。空気速度に対する最も大きな制約は、卵自体、卵を置くトロリー、そして各セッタートレイ間のスペースから生じる。

French N.A. (1997) は、卵殻温度を均一に保つために必要な空気速度は、2つのセッタートレイ間の距離 (水平配置かつ45°転卵時の配置) に反比例することを示した。

孵化 セッター

さらに、この研究では、2つの同等のセッタートレーの発育段階が同じ場合（シングルステージ孵卵機またはマルチステージトロリー設定の場合、固定トレイマルチステージと比較して）、空気速度の必要性がより重要であることが示された。

→ 温度要件：

前節で示したように、孵卵器の設定温度は胚が受け取る温度を正確には示しておらず、胚が受け取る温度の他の指標を確認する必要がある。

卵殻温度は、胚が受け取る温度を示す良い指標である（卵殻温度と胚温の差は通常0.1～0.2°C程度である）。記録された卵殻温度に基づいて、孵卵器の温度を調整することが可能である。

French N.A. (1997) は、Lundy H. (1969) および Wilson H.R. (1991) の研究結果から以下の結論を強調している。

- ◆ ほとんどの鶏種における最適孵卵温度は37.0～38.0°C (98.6～100.4°F) であるが、35.0～40.2°C (95.0～104.4°F) の範囲でも孵化は可能である。
- ◆ 胚は低温よりも高温に対してより敏感である。
- ◆ 最適外温度の影響は、その発生時の強度と期間に依存する。
- ◆ 胚は孵卵初期の方が、孵卵後期よりも最適外温度に対して敏感であるようである。

Decuypere E. ら (2001) の観察結果は、これらのポイントと一致している。Barott H.G. (1937) の研究に基づき、最大孵化率を得るための孵卵温度は37.0～38.0°C (98.6～100.4°F) であり、最適値は37.8°C (100.0°F) であると結論付けた。

Lourens A. ら (2005) は、孵卵期間全体を通じて卵殻温度を37.8°C (100.0°F) に維持した場合に、より良好な孵化率とひなの品質を得られることを報告している。これらの研究者によれば、孵卵開始1週目の温度不足（試験温度36.7°C / 98.1°F）は胚発育を遅らせ、孵化後7日間のひなの体温調節機能を損なう可能性がある。

一方、孵卵末期における高温（試験温度38.6°C / 101.5°F）は、ひなの耐熱性を高め、成長後の熱ストレス耐性を向上させる可能性がある (Hulet R. ら、2007)。

これらの観察結果は French N.A. (1997) の報告とも一致している。胚は孵卵期間の大部分において変温動物であるため、低温時には酸素摂取量を増加させない。逆に、高温時には酸素摂取量を増やし、代謝を活性化させる。

ただし、前述の記述は胚の酸素摂取が温度のみに依存することを意味するものではない。同一の発育段階においては、胚が受け取る酸素の累積量は、受け取る温度に関わらずほぼ同じであるようである。補償的増体機構が一部の研究者によって観察されているものの、影響を受けるのは胚の発育速度のみであると考えられる (French N.A., 1997)。

Molenaar R. ら (2010) は、孵卵期間全体を通じて卵殻温度を37.5～38.0°C (99.5～100.4°F) に保つことが、最良の孵化率およびひな質結果をもたらすと報告している。

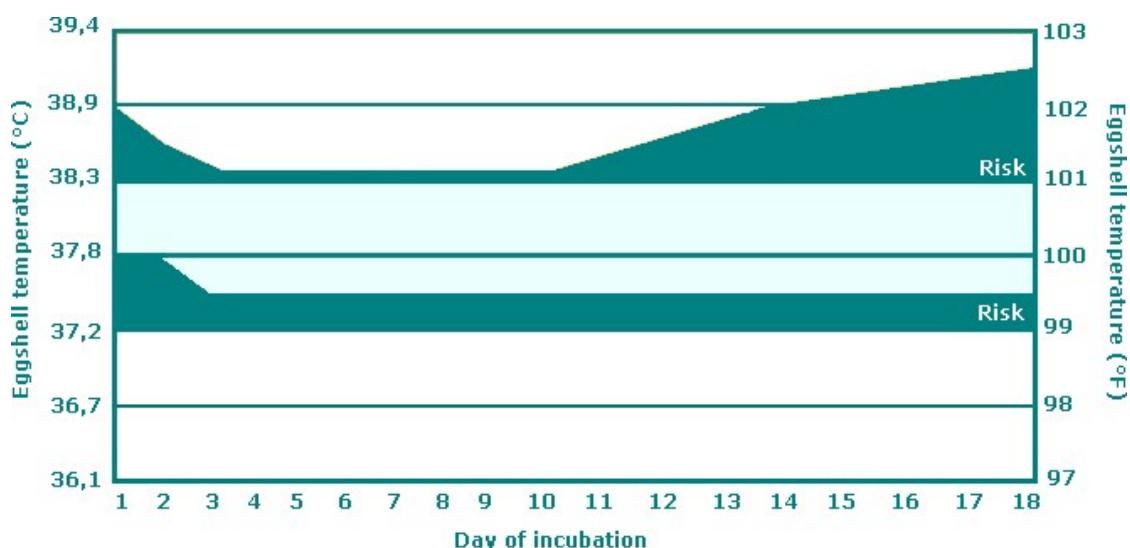
孵化 セッター

温度の質的影響についてはある程度理解されているものの、胚が極端な温度に耐えられる限界に関しては、定量的な理解は十分ではない。Barott H.G. (1937、Decuypere E. と Michels H. 1992 によりレビュー) によれば、孵卵温度は設定温度 ($37.8^{\circ}\text{C} / 100.0^{\circ}\text{F}$) から $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 以上逸脱してはならないとされている。

このような最小・最大温度の非常に狭い許容範囲は、より動的な状況においては単純化しすぎている可能性がある。特定の孵卵段階においては、より大きな温度変動を許容できる場合もある。これは、孵卵期間の特定の時期における高温または低温の影響が、孵化率、増体、その他の特性に与える影響が変動する可能性があるためである (Decuypere E. と Michels H., 1992)。

より最近の研究に基づき、French N.A. (2010) は、より広い許容範囲を定義し、孵化率、ひな質、将来の増体に影響を与える可能性のある「リスクゾーン」を特定している。

孵卵中の卵殻温度



このグラフは、理想的な卵殻温度とリスクゾーンを示している（理想温度を上回る場合は孵化成績やその後の増体・パフォーマンス低下のリスク、理想温度を下回る場合は孵化遅延のリスク）。

French N.A. (2010) より改変。

卵殻温度の測定:

- ◆ 赤外線温度計を使用する（写真のように手持ち式）。
- ◆ 卵の中心部で卵殻温度を測定する。孵卵器のセッタートレー中央にある15個の卵で行う。
- ◆ これを、孵卵器内の異なる場所にある3~4枚のトレーでも繰り返す。
- ◆ 孵卵器に作業用の中央通路がない場合は、素早く作業する。
- ◆ 無精卵や中止卵の温度は記録しない。
- ◆ 平均値と均一性を計算する。
- ◆ 測定結果に基づき、孵卵器の設定温度を調整する。



孵化 セッター

→ 推奨事項：シングルステージ孵卵機

孵卵期間中に特定の設定温度プロファイルを適用でき、かつ換気設定を調整できるシングルステージ孵卵機は、孵卵初期における胚の要求を十分に満たすことが可能である。しかし、記録温度が高すぎる場合やトレー間の空気速度が不十分な場合、孵卵後期には深刻な問題を引き起こす可能性がある。

孵卵器が十分な換気および冷却能力を備えていることを確認することが重要である。

前述の内容から、以下の推奨事項が導かれる。

日	設定温度		卵殻 温度 (°F)	換気
	最低 (°F)	最高(°F)		
-8/12	77.0	81.0	-	0%
0	100.4	100.5	-	0%
1	100.4	100.5	100.0-100.2	0%
2	100.2	100.3	100.0-100.2	0%
3	100.2	100.3	100.0-100.2	0-10%
4	100.0	100.1	100.0-100.2	0-10%
5	99.9	100.0	100.0-100.2	10-20%
6	99.9	100.0	100.0-100.2	10-20%
7	99.8	99.9	100.0-100.5	20-30%
8	99.8	99.9	100.0-100.5	20-30%
9	99.7	99.9	100.0-100.5	30-40%
10	99.5	99.8	100.0-100.5	30-40%
11	99.2	99.6	100.0-101.0	40-50%
12	98.8	99.2	100.0-101.0	40-50%
13	98.5	99.0	100.0-101.0	40-50%
14	98.3	98.8	100.0-101.0	50-60%
15	98.0	98.5	100.0-101.0	50-60%
16	98.0	98.5	100.0-101.0	50-60%
17	98.0	98.5	100.0-101.0	60-70%
18	98.0	98.5	100.0-101.0	60-70%

補足（N.B.）：

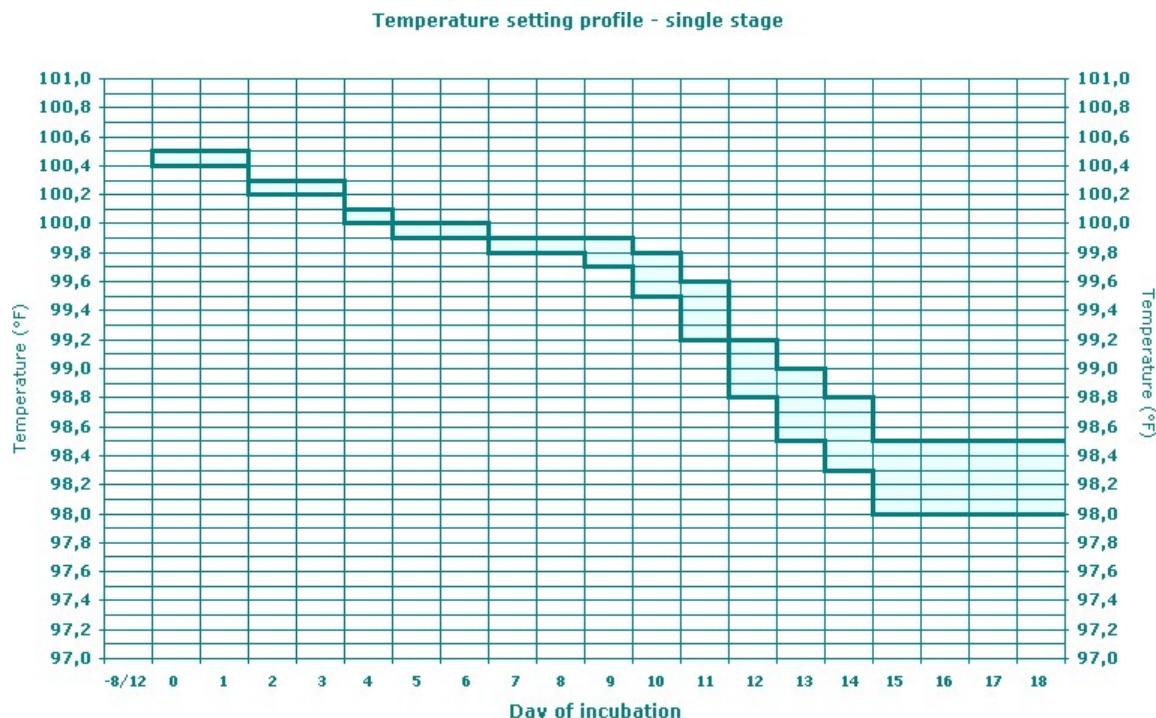
孵卵器の種類、容量、積載方法、孵卵室内の換気（孵卵器上方も含む）は、適用すべき設定値に影響を与える可能性がある。必ず孵卵器のサプライヤーに確認すること。

若い母鶏群の卵、増体がゆっくりな品種の卵、または卵殻伝導率が高い卵には、より高めの温度が適している。逆に、老鶏の母鶏群の卵、増体が早い品種の卵、または卵殻伝導率が低い卵には、低めの温度が推奨される。

上記の卵殻温度は、すべての品種および卵の種類に適用される。

孵化 セッター

下図のグラフは、孵卵期間中の設定温度の変化を示している。



マルチステージ孵卵機:

胚の発育段階に応じて設定温度を調整できるのは可能であるが、孵卵期間全体を通じて卵殻温度を一定に保てるのはシングルステージ孵卵機のみである。

マルチステージ孵卵機では、孵卵後期に胚が産生する熱が、発育初期の卵や胚を加温するために利用されることが知られている。このため、設定温度は固定されており、個々の胚の最適条件を常に満たすわけではない。孵卵初期には卵殻温度が胚の要求より低く、孵卵後期には高くなることが多い（Molenaar R. ら、2010）。

以下の推奨事項は、個々の胚の要求に基づくものではなく、孵卵器の卵容量および産生された熱を保持・除去する能力を重視している。

孵卵器能力	設定温度		換気
	最低 (°F)	最高(°F)	
0-25 000 卵	99.8	99.9	30-40%
25 000-50 000 卵	99.7	99.8	40-50%
50 000-75 000 卵	99.6	99.7	40-60%
75 000-100 000 卵	99.5	99.6	40-70%
+ 100 000 卵	99.4	99.5	40-70%

補足:

上記の推奨事項は、孵卵器への給気を含む孵卵室内環境（温度、湿度、空気量）が完全に管理されていることを前提としている。

孵化 セッター

→ 孵卵中の湿度

卵およびひなの水分濃度はほぼ同じである。卵（殻を除く）は74～75% (Sauveur B., 1988)、初生ひなは72～73% (Medway W. と Kare M.R., 1957) である。したがって、孵卵中の水分損失は、卵黄に含まれる脂質の代謝によって生成される水分量とほぼ対応する必要がある（26ページ参照）。また、脂質代謝には生成される水分と同量の水が必要であることも知られている (Ar A. と Rahn H., 1980、Baggott G.K., 2001によりレビュー)。

1974年、Rahn H. と Ar A. は、孵卵中の水分損失は通常18%であることを示した。

Ar A. (1991、Baggott G.K., 2001によりレビュー) は、ほとんどの鶏種において、初期卵重に対して20%の総水分損失があれば、ひなの水分濃度が卵とほぼ同じになると指摘している。

Romanoff A.L. (1968、Baggott G.K., 2001によりレビュー) は、孵卵期間中、卵白から28.6 g、卵黄から7.2 gの水分が失われ、一方で胚の体組織に24.7 g、遺残卵黄に2.5 gが現れることを示した。バランスは-8.6 gである。これらの値は、Sauveur B. (1988) が示した18日間の孵卵で生成される水分8.54 g、21日間で10.31 gという値に近い。

Meijerhof R. (2009a) は、代謝水の生成は初期卵重の12～14%に相当し、そのうち少なくとも9～10%の水分を排出して、肺呼吸を開始するのに十分な気室を形成する必要があると示している。

Hays F.A. と Spear E.W. (1951、Molenaar R. ら、2010によりレビュー) は、内部での嘴打ちの時点での累積損失が6.5～12.0%の範囲であればひなは孵化可能であることを報告している。

Tona K. ら (2001a) は、18日間の累積減耗が10.9～11.1%の範囲にある場合、孵化率が最も良好であることを示した。彼らは、水分減耗が少ない場合よりも多い場合のほうが、孵化時のトラブルが少ないと観察している。また、種鶏の週齢、卵重および水分減耗量（グラム）との間に直接的な関係があることを確認した。しかしながら、種鶏週齢と孵化率、胚の死亡率および水分減耗率（%）との間には相関関係は認められなかった。

内部での嘴打ち前の水分減耗が6.5%未満の場合、肺呼吸を開始するために必要な気室が十分に形成されない。一方、減耗が14.0%を超えると脱水のリスクが高まる (Molenaar R. ら, 2010)。さらに Meijerhof R. (2009a) によれば、減耗が17～18%に達すると脱水のリスクが顕著になる。

卵重の減少は本質的に水分減耗と結びついており (Tona K. ら, 2001a)、これは卵殻コンダクタンスと周囲湿度のみに左右され、その他の要因は関与しない。

卵殻コンダクタンスは卵ごとの差が大きいため、単一の最適値を用いるのではなく、許容範囲を設定する方が現実的である。Molenaar R. ら (2010) はその範囲を6.5～14.0%と提唱している。

同じ研究者らは、水分減耗の本質的目的は十分な大きさの気室を作ることであるため、「いつ減耗するか」は重要ではなく、「累積として肺呼吸が開始可能な気室を確保できるか」が重要であると結論付けている。

孵化 セッター

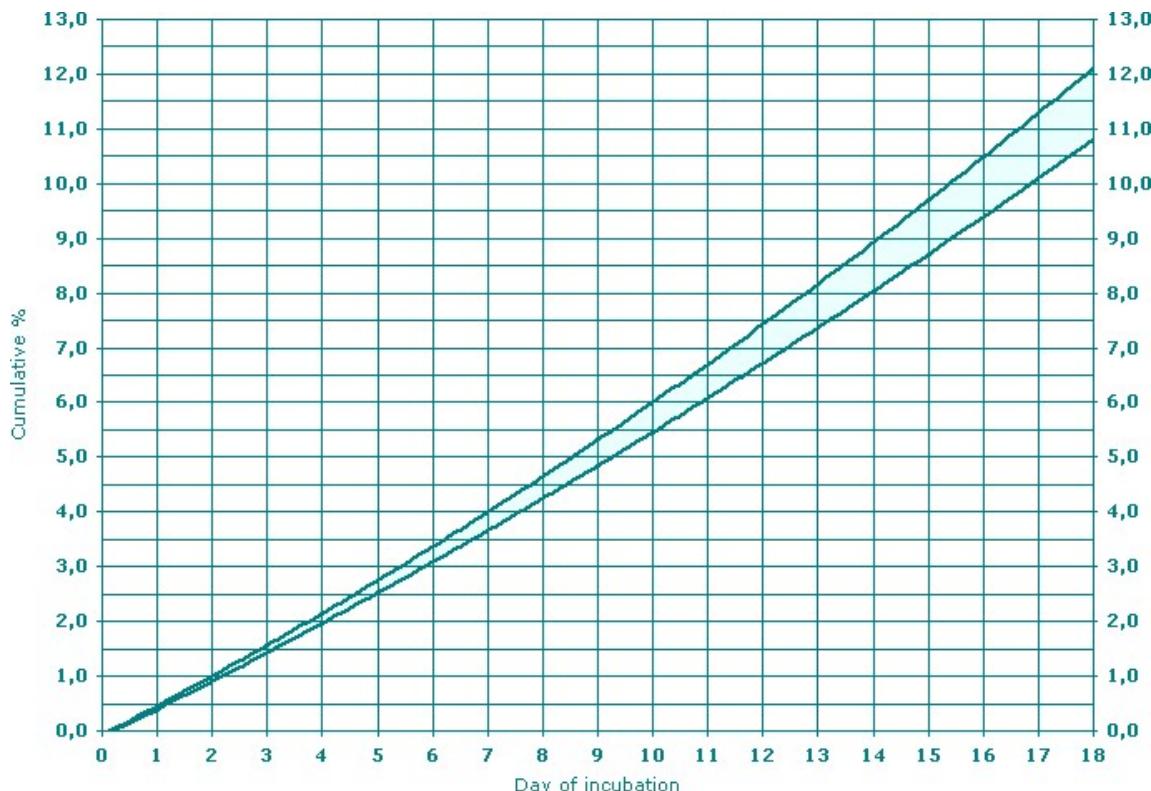
Robertson I. (1961a) は、湿度が過度に高い状態 (75~80%) では、孵卵初期10日間における胚の死亡率が上昇することを指摘している。また、湿度が40~70%の範囲で変動していても孵化率には問題がなく、最適湿度は50%であることも確認した。

→ 推奨事項

孵卵中の水分減耗が孵化成績に悪影響を及ぼすのは、湿度が最適値を超えて前述した許容水分減耗範囲の極端な領域に近づいた場合のみである (Molenaar R. ら, 2010)。したがって湿度は、推奨される水分減耗範囲内に収まるよう調整すべきである。

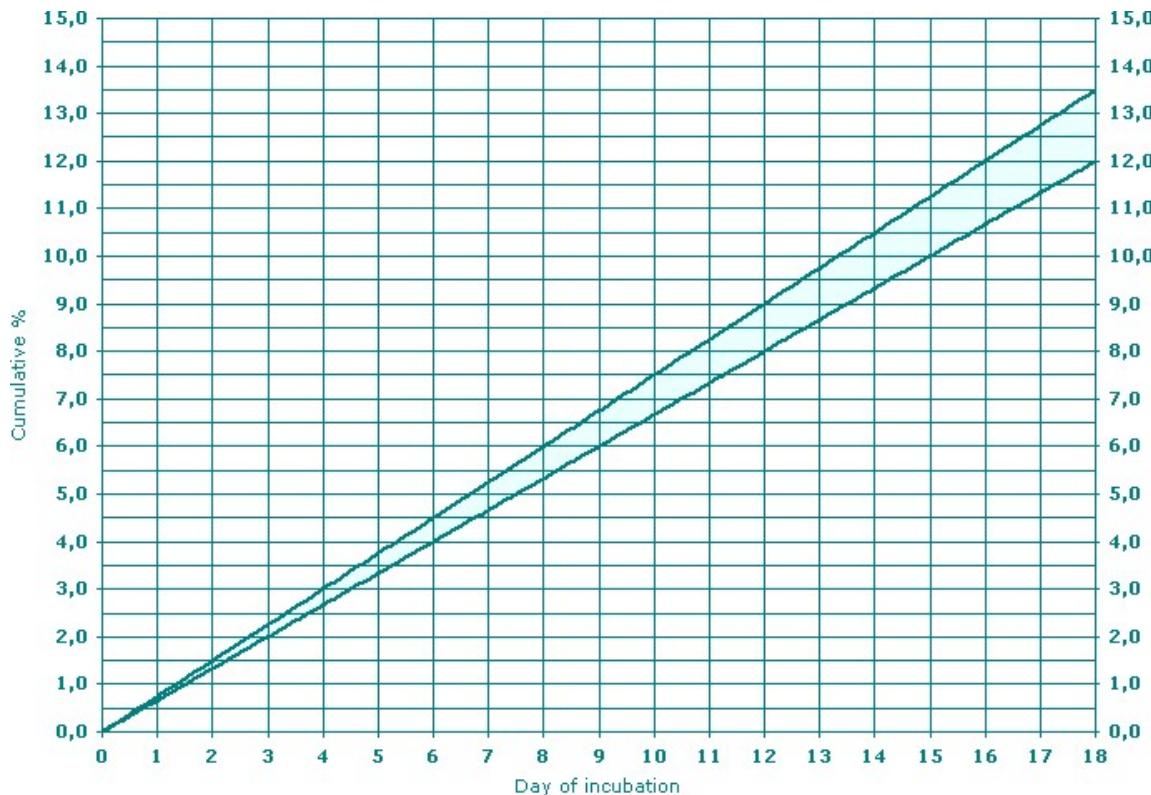
実務的に言えば、シングルステージでもマルチステージでも、湿度は **50~55%** に設定すべきである。水分減耗の進み方は、卵の装填方式による影響をほとんど受けない。

- ◆ シングルステージの場合、換気ベントの調整が可能であるため、インキュベーション期間中の水分減耗はわずかに指数関数的に増加する。



孵化 セッター

- ◆ マルチステージの場合、水分減耗はほぼ直線的に推移する。



→ 転卵

卵の転卵は、卵黄が卵殻膜に付着すること (Sauveur B., 1988) や、尿囊が胚に付着してしまうことを防ぐうえで重要な役割を果たす。また、血管膜および尿囊絨毛膜の発達を促し (Cutchin H.R. et al, 2009) 、卵白が尿囊絨毛膜内に取り込まれることを助ける (Sauveur B., 1988)。

転卵によって、卵白の一部が尿囊絨毛膜の外側に留まることを防ぎ、同膜と卵殻膜の間に入り込んでガス交換を阻害するのを防止できる (Decuypere E. et al, 2001)。

転卵されない卵では、動脈内の酸素分圧が不十分となり、またヘマトクリット値が高くなることで、胚が危険にさらされることが多い (Decuypere E. et al, 2001)。

転卵は、卵の鋭端部における尿囊絨毛膜の適時かつ完全な閉鎖を促し、羊水中のタンパク質蓄積を助け、卵白のより良い利用を可能にする (Tona K. et al, 2005)。

転卵は、孵化終盤における胚の異常姿勢を防止する (Tona K. et al, 2003)。

しかし、転卵の角度、頻度、実施期間などについては、依然として不明確な点が多い。

孵化 セッター

Cutchin H.R. ら (2009) は、転卵角度が垂直に対して15°の場合、45°で転卵した場合と比較して、孵化後期における胚の死亡率が10倍に増加することを示した。

同じ研究において、孵化18日目に過剰な残留アルブミン（卵白）を示す胚の発生率が約20倍に増加することも確認された。さらに、転卵角度が30°の場合には、孵化率の低下と胚発育中期での死亡率の上昇が観察された。

Funk E.M. および Forward J.F. (1953) は、Elibol O. と Brake J. (2006a) によるレビューで、転卵角度が20~45°より大きくなると孵化率が上昇することを報告している。しかし、40°と45°の間では顕著な差は認められなかった。

Wilson H.R. (1991) は、転卵角度は垂直に対して45~70°で行うべきだと述べている。しかし、Funk E.M. と Forward J.F. (1960) は、Elibol O. と Brake J. (2006a) のレビューにおいて、30°、45°、60°、75°を比較した結果、45°で最良の成績が得られたとしている。

Elibol O. と Brake J. (2006a) は、転卵角度が35~45°の範囲で変化しても孵化率への影響は認められなかったと報告している。しかし、転卵角度と異常体位の発生率には逆相関の関係があることを示した。さらに彼らは、転卵頻度を増やすことで、角度不足による悪影響を補うことができると観察している。

Robertson I. (1961b) は、転卵頻度（基準角度45°）が孵化率に顕著な影響を与えることを発見し、1日96回の転卵が、それより少ない回数と比較して最も良い結果を示したと報告している。また、1日480回もの高頻度で転卵した場合でも、孵化率の低下はごくわずかであったと述べている。

Elibol O. と Brake J. (2003) も、これと同様の結果を示した。孵化3~11日目の期間に転卵頻度を比較したところ、1日96回の転卵が、2倍または4倍少ない頻度と比較して最良の結果を示したと結論づけている。

Wilson H.R. (1991) は、最大の孵化率は1日96回の転卵で得られるが、実務的には1日24回が現実的であると述べている。さらに Decuyper E. ら (2001) によるレビューの中で Deeming D. (1990) は、転卵に最も重要な時期は孵化3~7日目であり、13日目以降は転卵の効果はほとんど無視できるとしている。

しかし別の研究で、Tona K. ら (2005) は、転卵は孵化12日目までは必要であり、16日目より前に停止しないことが望ましいと結論づけている。さらに彼らは、胚の体重は転卵を停止する日によって影響を受ける可能性があることを観察し、転卵が増体を刺激する効果を持つ可能性があるという仮説を立てた。

これらの研究者は 2003年の研究で、転卵を18日目まで行うことが孵化成績に有益な効果をもたらすことを示した。試験では 転卵期間の違い（12日、15日、18日）によって、胚のストレス指標である血中コルチコステロン濃度に影響は見られなかつたと報告している。

しかし一方で、転卵期間は気室内の CO₂濃度に影響を与えることが確認された。さらに、代謝活動の指標となる血中の甲状腺ホルモン濃度は、18日目まで転卵を継続した場合に上昇した。

同じ研究者らは、甲状腺ホルモン（特にT3：トリヨードサイロニン）の増加が孵化率に良い影響を与えることを、以前の研究で既に証明している。

Tona K. ら (2001b) は、転卵停止時期を遅らせるほど（試験では15、16、17、18日で比較）、孵化率が上昇することを観察した。またこの効果は、老鶏の母鶏群由来の卵で特に顕著であったと述べている。

孵化 セッター

Elibol O. と Brake J. (2006b) は、転卵を8日、10日、12日、14日で停止した場合でも孵化率に大きな差は認められなかったと報告している。したがって彼らは、転卵は孵卵8日目以降であれば停止してもよいと結論づけた。

しかし同じ研究において、母鶏群の週齢と転卵頻度の間に強い相互作用が存在することが明らかとなつた。すなわち、母鶏群の週齢が高いほど、より長い期間の転卵が有益であることが示された。

→ 推奨事項

転卵角度は45°が最適であるという点については一致した見解が得られているものの、いつ転卵を停止すべきか、また1日の転卵頻度をどの程度にすべきかについては、いまだ多くの疑問が残されている。自社孵卵場での試験では、転卵頻度を増やすことで孵化率が改善されることが明確に示された。したがって、可能な限り15分または30分ごとに転卵を行い、少なくとも1時間に1回以上転卵することが望ましい。

転卵を早期に停止することは、孵卵器内にホットスポットを発生させない場合にのみ検討できる。

French N.A. (1997) は、セッタートレーが水平になると、胚が発生させる熱を除去するために必要な送風速度が低下することを示した。その結果、特に送風速度が十分でない箇所において、孵卵器内に高温域（ホットスポット）が形成される可能性がある。

移卵まで転卵を継続し、さらに通常より転卵頻度を増やすことは、ホットスポットのリスク低減に役立ち、その結果として、間接的に必要な空気速度の低減にもつながる。

→ 二酸化炭素CO₂

孵卵中のガス交換は、胚の発育と生存性、ふ化成績、さらには雛の増体および生理において極めて重要な役割を果たす。

Molenaar R. ら (2010) は、胚が耐えうる CO₂ の許容レベルを示している。胚は孵卵最初の4日間は 1% の CO₂ までしか耐えられず、5日目以降は 3%、さらに 9日目以降は 5% まで耐性があると述べている。これらのレベルはふ化率に明確な悪影響を及ぼさないように見えるものの、CO₂濃度が胚発育にどのような変化を及ぼすかについて、十分に理解されているとは言い難い。

胚の酸素消費量は、孵卵前半の2週間で指數関数的に増加する。これは 血管域の表面積および 漿尿膜の発達速度と直接関係していることから、孵卵初期における 低酸素または高二酸化炭素状態が血管発達を促進する可能性が示唆されている (Decuypere E. ら, 2006)。

同様に、胚発育開始の理想的な pH が 7.9~8.4 (p.17) または 8.2~8.8 (p.18) であることから、孵卵初期の比較的高い CO₂ レベルは胚発育を改善することが示されている。Molenaar R. ら (2010) は、孵卵最初の 48 時間に CO₂濃度 2~4% を与えることで卵白 pH を低下させ、胚および胚付属器官の発達を促進したと報告している。しかしながら、同研究者らの別の試験では、同レベルの CO₂ がふ化率に悪影響を及ぼすことも示されており、効果は一様ではない。

七面鳥においては、孵卵初期 10 日間 CO₂濃度を 0.3% とした場合、0.1% の場合と比較して孵化率が 5% 向上したという報告がある。

一方、プロイラー用鶏では、孵卵 最初の5日間に CO₂濃度が 0.7~0.8% となると、孵化率および胚発育速度に悪影響を及ぼすことが示されている。

孵化 セッター

Molenaar R. ら (2010) は、多くの試験において、孵卵最初の 10日間に CO₂ 濃度を徐々に上昇させる (0.7~1.5%まで) と胚発育が促進されることを示した。ただし、この操作が孵化に与える影響については明確ではない。

Decuypere E. ら (2006) は、孵卵最初の 10日間に CO₂ を徐々に上げる (1.0~1.5%まで) と、大動脈の内腔が拡張し、卵内空気室の CO₂ 圧が増加し、胚発育が加速されるため、孵化の時間帯がより集中する (ハッチウィンドウが狭まる) ことを示した。

さらに、これらの研究者は、血中のコルチコステロンおよびホルモンT3のレベルが上昇することも観察している。コルチコステロンは甲状腺ホルモンや糖質コルチコイドの代謝に関与し、甲状腺ホルモンは孵卵後期の嘴打ちや孵化の準備に関与することから、この観察結果は孵卵期間の短縮を説明するものである。

Sauveur B. (1988) は、供給される空気中の酸素濃度は 20.5% 以下になってはならないとしている。これを下回ると、胚の酸素摂取が困難になる。しかし、Dorn D.J. (2010) は、孵卵初期に換気口を閉じることで誘発される高二酸化炭素状態が、中程度の低酸素状態 (約 19% O₂) を生じさせることを指摘している。

胚の中程度低酸素状態に対する反応は、特に孵卵2週目においては、胚の代謝および増体速度に依存する。Dorn D.J. (2010) は、中程度の低酸素状態が、ファーストグロース系統の胚において心臓の過形成および肥大を引き起こすことを観察した。

さらに、胚は孵卵 6~12日目 (増体が著しい時期) において特に低酸素に敏感であることも確認されている。

→ 推奨事項

孵卵初期に必要な CO₂ 濃度はまだ明確には定義されていないが、明らかに品種の増体能力に依存することが示唆されている。

それでも、孵卵初期に CO₂ 濃度を段階的に 0.5~0.7% まで上げることは、血管膜および胚の発育に有益である可能性が高い。

孵化 セッター

シングルステージ:

日	セッター内のCO ₂ 濃度	換気
-8/12	-	
0	-	0%
1	0.1-0.2%	0%
2	0.1-0.2%	0%
3	0.3-0.5%	0%
4	0.3-0.5%	0-10%
5	0.5-0.7%	0-10%
6	0.5-0.7%	10-20%
7	0.5-0.7%	10-20%
8	0.3-0.5%	20-30%
9	0.3-0.5%	20-30%
10	0.3-0.5%	30-40%
11	0.3-0.5%	30-40%
12	0.2-0.4%	40-50%
13	0.2-0.4%	40-50%
14	0.2-0.4%	40-50%
15	0.2-0.4%	50-60%
16	0.2-0.4%	50-60%
17	0.2-0.4%	50-60%
18	0.2-0.4%	60-70%

マルチステージ:

換気量を調整できない場合、孵卵器内の CO₂ 濃度は孵卵期間を通じて 0.3% に維持すべきである。

→ 機械への投入

前節では、孵卵期間中、胚はある程度の許容範囲内で特別な環境条件を必要とすることが示された。品種の増体ボテンシャル、卵重、卵殻通気性などの要因がこれらの条件を変化させる可能性がある。また、卵は均一に孵卵されることが推奨される。

しかし、卵を取り巻く環境は主に以下の2つの要因に依存する：

- ◆ 受精率
- ◆ 孵卵器への卵の積載方法

胚は発育過程で内熱段階と外熱段階の両方を経験するが、未受精卵は熱を必要とせず、また生産もない。未受精卵の温度は常に発育中の胚より低く、同じセッタートレー上の1個以上の未受精卵が周囲の胚に知覚される条件に影響を与える可能性がある。

未受精卵は、生成される熱を吸収する傾向があり、周囲の胚を冷やす可能性がある。さらに、未受精卵の水分喪失は発育中の胚より少ないため、孵卵器内の湿度レベルに影響を及ぼすことがある。最後に、CO₂ を生成しないため、未受精卵は孵卵器内の CO₂ 濃度を低下させる可能性がある。

孵卵中の環境を最適化することにより、一貫した孵化結果が得られる。しかし、品種ごとに要求条件が異なり、孵卵器の設計も異なるため、品種供給者および孵卵器メーカーの指針を十分に理解することが重要である。

孵化 セッター

スケールは異なるが、孵卵器への卵の積載に関する指針も同じ原則に従う：容量の少なくとも75～80%まで卵を入れた孵卵器のみが、均一な環境条件を提供できる。

計画上、入卵予定数が孵卵器内に空きスペースを残す場合でも、トレー やトロリー（同じトレー上の卵も含む）の配置は、孵卵器全体でできるだけ均等になるようにすべきである。

この原則に従わない場合、空気速度が乱れ、それに伴い温度・湿度・CO₂の条件にも悪影響が生じる。

→ 孵化期間中の消毒

数年前までは、多くの孵化場で、入卵時の卵の燻蒸や、孵卵中の消毒が通常の作業でした。

現在では、燻蒸は入卵前に実施され、孵卵中の消毒はあまり行われなくなっています。これは、おそらく同じ孵卵器内での交差汚染リスクが低いため、恒常的な消毒プログラムを行う必要がないことに関連しています。

当社の孵化場で行った試験でも、孵卵中の消毒によるプラス効果もマイナス効果も認められませんでした。

孵卵中の交差汚染リスクが低いとはいえ、セッタールーム全体の清潔さを含む、バイオセキュリティと衛生基準の緩和を正当化するものではありません。

ただし、孵卵器内部での消毒は可能です。この場合、蒸発法によって行われることが多く、通常はホルマリンを5～6%に希釀して使用します。

消毒をフォギング（霧化）で行う場合は、必ず機械の製造元が示す推奨方法に従ってください。特に使用する消毒剤の種類に注意が必要です。消毒剤によってはノズルが詰まり、適切な消毒効果が得られなくなることがあります。

→ セッター室環境

セッター室の環境は、孵卵器が新鮮空気を室内から取り入れる場合や、機械の前で予熱を行う場合にのみ重要です。ガイドラインとなる条件は以下の通りです：

温度	湿度	空気量
25°C (77.0°F)	50-55%	1.0-1.5 m ³ /hour/100 eggs

空気が孵卵器に直接、またはプレナム（エアダクト）を通して導入される場合は、機械メーカーの指示に従ってください。

移卵

移卵は通常、孵化18日目に行われます。ただし、卵内接種機を使用する場合は、移卵は19~19.5日目に行います。移卵は手動でも自動でも可能ですが、迅速に行う必要があります。卵をセッターからハッチャーバスケットに移す際は、バスケットの取り扱いに注意してください。「吸引カップ」は適切に調整され、移卵機はスムーズに作動する必要があります。

移卵と同時に検卵を行い、「無精卵」（無精卵および初期中止卵）を取り除くことができます。しかし、未受精率が15%を超える場合には、トレーを通常のレベルまで受精卵で補う方が望ましいとされています。これにより、熱の分散がより均一になり、卵が冷えてしまうリスクを軽減することができます。

もし無精卵の割合が高く、トレー内の空いたスペースを受精卵で補充する必要がある場合、使用しなくなった空のトレーはハッチャートロリーの最下段に配置するようにします。

移卵作業が完了したら、将来の汚染の可能性をなくすために、卵の吸引移卵に使用した吸引パッドを洗浄・消毒してください。また、次回の移卵に備えて、吸引パッド装置とハッチャーバスケットの両方が完全に乾燥していることを確認してください。

→ 移卵室環境

この部屋の環境条件は、インキュベーター室と同じです。

温度	湿度
25°C (77.0°F)	50-55%

孵化 ハッチャー

産卵時の卵（殻を含む）は、およそ 65.6%の水分、12.1%のタンパク質、10.5%の脂質、0.9%の炭水化物、10.9%のミネラル で構成されている。これらの栄養素が、胚の発育に利用できるすべての供給源となる。

タンパク質は主に 増体のために使用される。初期量のうち、およそ 48%がひなに移行し、47%が遺残卵黄に残り、2.5%が尿囊に存在し、残りの2.5%のみが失われる。これはおそらく代謝によるものと考えられている（Molenaar R., 2010）。

前述のとおり、脂質は主に卵黄に含まれ、胚の主要なエネルギー源である（使用されるエネルギーの約 90%が脂質由来）。脂質の酸化は 孵卵9日目以降に増加し、それは胚の発育速度が加速する時期と一致する。初期量のうち 約20%がひな、40%が遺残卵黄に残り、残り40%が代謝される（Molenaar R., 2010）。

卵内の炭水化物量は非常に少なく、孵卵期間の大部分でその状態が続く。単純炭水化物の大半は、卵黄尿囊膜がまだ形成されておらず、脂質代謝に必要な酸素を十分供給できない孵卵初週に使用される。

孵卵後期には 2回目の糖代謝のピークが確認される。孵化時には酸素供給量が低下するため、胚は脂質代謝から炭水化物代謝へ切り替え、孵化に必要な追加工エネルギーを確保する必要がある。

したがって胚発育の過程では、十分な炭水化物備蓄が不可欠である。グルコースは主に 肝臓・筋肉・心臓・卵黄膜にグリコーゲンとして蓄積される（Molenaar R., 2010）。ひなが孵化に向けて準備を始める際、胚は 肝グリコーゲンを優先的に動員し、嫌気性解糖が進むことで 血中乳酸濃度が上昇する（Molenaar R., 2010）。

これらの変化から明らかなように、温度と酸素供給は孵化における最重要要素であり、インキュベーター条件が不適切であると 胚の発育と生存性が損なわれる。

→ ハッチャー温度

ページ24および25のグラフは、胚による発熱量が 孵卵16～17日目で横ばい状態に達することを明確に示している。多くの推測とは反対に、この横ばい状態は胚の発熱量が最大に達したことを示しているのではなく、酸素不足による可能性が高い。

Decuypere E. と Michels H. (1992) は、最大の酸素供給が得られるのは孵卵後期であると述べている。これは前述の通り、卵殻クチクラ、卵殻、および卵殻膜の透過性に依存している。

Christensen V.L. ら (2001) は、酸素消費をより詳細に調査した。七面鳥において酸素消費量は孵卵25～26日頃まで指數関数的に増加する。この時期になると、胚の酸素要求量が酸素供給量の最大値を上回り、胚は別のエネルギー源を作動させる。これらのエネルギー源は胚発生の過程で準備されたものである。胚は複数の器官にグリコーゲンを蓄積するが、ニワトリでは心臓に蓄えられる量は少なく、グリコーゲン活性は限定的となる。

肝臓に蓄積されたグリコーゲンが心臓へ供給される仕組みになっており、この調整には甲状腺ホルモンが関与している。

孵化 ハッチャー

変温動物であることから、胚が温度上昇を感じると 酸素要求量も増加する。これによりひなは 代謝ストレス下に置かれ、胚は急速に 炭水化物代謝へと移行する。このことは、極度のストレス下で最終的に 心停止が発生することや、前述した 遺残卵黄が多く見られる理由を説明している。

また、孵卵後期の高温は空腸のマルターゼ濃度を低下させることが示されている（これは腸の成熟を示す指標である）（Wineland M.J. ら、2001）。このことは 軟骨細胞（骨の石灰化を示す指標）の発達を阻害する（Yalçın S. ら、2007）。

なお、ここまで述べてきた 高温の悪影響は、孵卵末期に「ヒートショック」を与える新しい特定技術には当てはまらない。これは、熱ストレスの時間が短いため、胚が事前に耐性を獲得し、育成期間中に受けるストレスに適応しやすくなるからであり、胚代謝への重大な影響を伴わない。

→ 推奨事項:

ハッチャーの温度を上げる根拠は全くない。その逆に、比較的低い温度は総孵化期間を延長する可能性があるものの、育成後の増体成績の向上に有利であると報告した研究者もいる。

日	設定温度		換気
	最低 (°F)	最高(°F)	
19	98.0	98.5	30-50%
20	98.0	98.5	30-50%
21	97.0	98.0	50-70%

備考：機械の種類、容量、積載方法、ハッチャー室内および孵卵器上部の換気状況は、特定の孵化場向けの推奨条件に影響を与える場合があります。必ず使用する機械の製造元に確認してください。

卵が若い母鶏群由来の場合、スローグロース品種の場合、または殻の導熱性が高い場合は高めの温度が望ましいです。逆に、卵が老齢母鶏群由来の場合、ファーストグロース品種の場合、または殻の導熱性が低い場合は低めの温度が推奨されます。

→ 孵化期間中の湿度

湿度は、適切な水分喪失の範囲内であれば、他の孵化要因ほど重要ではないことが観察されています。

実際の孵化時には、湿度の調整は主に移卵時に観察される卵重の減少に基づき、過度な脱水のリスクを抑えることを目的として行われます。

日	推奨湿度
19	50-55%
20	55-60%
21	60%

追記：嘴打ちの開始時、そして特に孵化のピーク時には、実際の湿度は推奨値よりも高くなることがあります。高湿度アラームが70~75%に達する前に作動しないように注意してください。

→ 二酸化炭素CO₂濃度

初期の孵化期間における比較的高いCO₂濃度は、血管域および羊膜絨毛膜の発達を促進することが示されています。

孵化 ハッチャー

一方で、CO₂は一部の器官の発達を阻害するため、孵化末期における高濃度のCO₂は必ずしも有益ではありません。Wineland M.J.ら（2001）は、酸素圧が不十分だと心臓重量が低下することを示しましたが、心筋グリコーゲン量には影響しないことも明らかにしています。

しかし、低酸素状態（高地での孵化を含む）や高CO₂状態は、孵化期間を短縮し、孵化の時間幅を狭めることができます（Decuypere E.ら、2006）。

孵化時に酸素圧が低い胚は、右心室の肥大を起こしやすく、腹水症に対して感受性が高くなる可能性があります（Decuypere E.ら、2006）。

Molenaar R.ら（2010）は、孵化直前の気室内の酸素圧はわずか14.2%に達するに過ぎず、逆にCO₂は約5.6%に達すると報告しています。これらの圧力がひなの嘴打ち開始を促し、環境中の高濃度CO₂は、ひなが十分に発達していくなくても孵化を強制することができます。

→ 推奨事項

大気中のCO₂濃度の異なる影響についてはまだ明確に定義されていませんが、CO₂の主な影響は胚の品種ごとの増体能力に大きく依存することは明らかです。

CO₂は心臓の低酸素耐性を高める上で有益な効果があるように見えますが、一方でまだ孵化準備が整っていないひなの孵化を促してしまい、結果として全体的なひな品質を低下させる可能性があります。

日	ハッチャー内のCO ₂ 濃度	換気
19	0,2-0,4%	30-50%
20	0,4-0,6%	30-50%
21	0,2-0,4%	50-70%

→ ハッチウインドウ

これは、最初のひなから最後のひなまでの孵化期間を指します。この期間は、入雛前の加温を含め、孵化条件の良い指標となります。

忘れてはならない最も重要なルールは、前述のセクションで述べたように、卵の均一性をできるだけ高い割合で確保することです。

短いハッチウンドウが、ひな品質と均一性を向上させることができます。短いハッチウンドウは、第一に早く孵化したひなによる脱水のリスクを減らし、第二に遅く孵化したひなが入雛時に準備不足で動きが鈍くなることを防ぎます。

目標は以下の通りです：

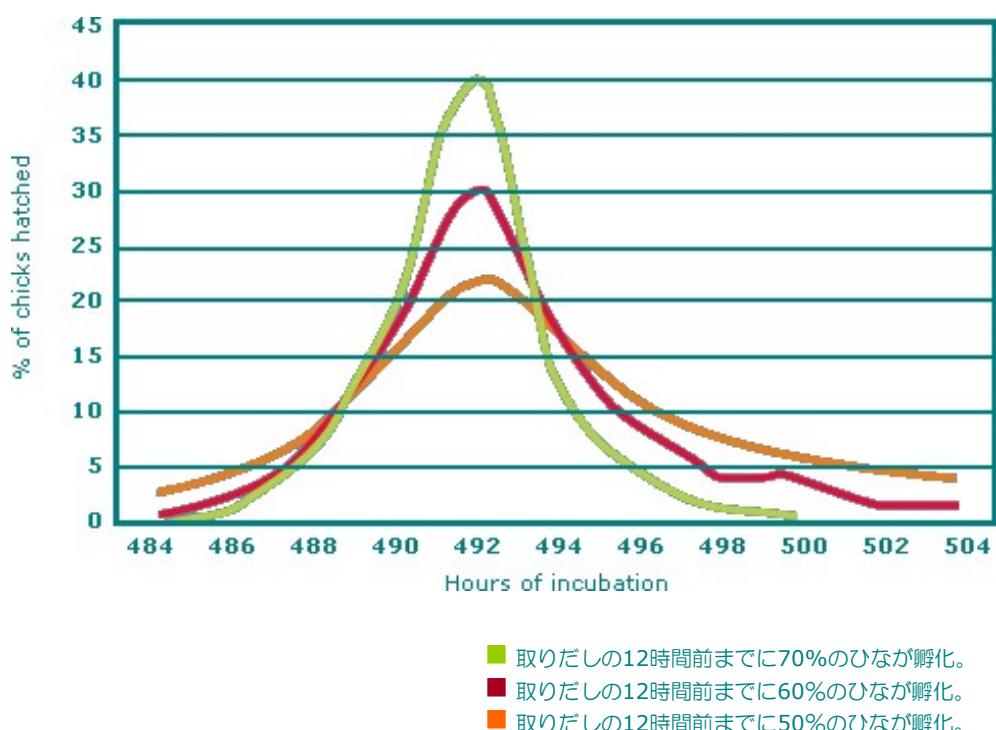
ハッチウンドウ	時間
非常に良好	< 24 hours
良好	24-30 hours
平均	30-36 hours
悪い	> 36 hours

孵化 ハッチャー

短いハッチウィンドウは重要な要素ではあります、それだけを考慮すべきではありません。ひなを取りだすタイミングは、そのロットに対して計算された総孵化期間と一致していなければなりません。総孵化時間が最適値より15~20時間も短いにもかかわらず、ハッチウィンドウだけが短いという状況では意味がないのです。

以下のグラフは、「取りだしの12時間前までに孵化したひなの割合」と「ハッチウィンドウの推移」の関係を示したものです。

取りだしの12時間前までに孵化したひなの割合に対するハッチウィンドウのタイプ別推移



出典 : Thornton G. (2011)

ハッチウィンドウの現実的な目標は、取りだしの12時間前までに60%のひなが孵化している状態を達成することである。同様に、French N.A. (2010) は、取りだしの30時間前には孵化しているひなが2%を超えてはならないと述べている。

→ 総孵化時間

これまでに述べてきたとおり、胚の発生はほぼ完全に温度とその均一性に依存している。しかし、もう一つ付け加えるべき要素として、品種の増体ポテンシャルがある。

増体ポтенシャルの高い品種は、より多くの代謝熱を発生する。このため、より早く孵化する傾向があるだけでなく、高温に対してもより敏感である。

対照的に、増体ポтенシャルの低い品種は発生する代謝熱が少なく、遅く孵化する傾向があり、高温への感受性も低い。

理論的には、異なる品種を別々の孵卵機で孵化させることにより、2種類の品種を同時に孵化させることが可能である。これは近年、より長い孵卵時間が使用される傾向がある理由の一つと考えられる。

孵化 ハッチャー

しかし、正確な孵卵時間を明確に定義することは常に容易ではない。また、胚が知覚する温度が前述の条件に合致している場合には、ここでは厳密な孵卵時間に限定して論じることはしない。

品種の増体ポтенシャル	総孵卵時間
ファースト（早い）	500-508 時間
スロー（遅い）	504-512 時間

→ 孵化期間中の消毒

種卵の衛生状態を最大限に高めるために孵卵期間中どれほど対策を講じたとしても、孵卵中には依然として汚染のリスクが残る。特に、発生の過程ではそのリスクが非常に高くなる。

実際のところ、ホルマリン（またはホルマリンを基材とする製品）に代わる効果的な代替手段はほとんど見つかっていない。ホルマリンを使用する場合には、以下を含む必要な安全対策をすべて講じない限り、その使用を推奨することはできない。

- ◆ 直径30~40cmの浅い皿を使用する。
- ◆ ハッチャー1台につき1つ、扉のすぐ内側、またはハッチャートロリーの下に設置する。
- ◆ ホルマリン濃度18~20%の溶液を500~600ml皿に注ぐ（原液濃度36~40%のホルマリン250~300mlと水250~300mlを混合したもの）。
- ◆ そのまま蒸発させる。

最大の効果を得るためにひな5~10%が孵化した時点（入卵20日目の中盤から後半）でホルマリンを設置することが望ましい。

ホルマリンは一度の使用で十分である。早期の使用は汚染防止にほとんど効果がない。頻繁な繰り返し処理はホルマリンの過剰曝露のリスクを伴う。

ホルマリンの過剰使用は容易に識別できる。ひなは濃い黄色を呈し、極端な場合は孵化時に呼吸困難の兆候を示すことがある。

ホルマリンは呼吸器を刺激し、過剰曝露により気管に損傷を引き起こす可能性がある。この損傷は感染の原因となり、増体や生存率に影響を及ぼすことがある。

その他の消毒製品については、供給者の指示に従い、胚やひなに安全に使用できることを確認すること。

→ ハッチャー室の環境

ハッチャー室の環境は、ハッチャーがこの部屋の空気を取り入れる場合にのみ重要である。ハッチャー室の推奨条件は以下の通り：

温度	湿度	空気量
25-26°C (77.0-78.8°F)	55-60%	3.0-3.5 m³/時間/100 卵

空気がハッチャーに直接導入される場合、またはプレナム（ダクト）が使用される場合は、機械メーカーの指示に従うこと。

ひな質

孵化の成功は孵化率の記録によってモニタリングすることができるが、この方法は特にインテグレーターにとっては限定的すぎる。孵化条件は、孵化結果だけでなくひなの品質にも影響を与える。ひなの品質が経済的に及ぼす影響は、わずかなひなの不足や過剰のコストよりもはるかに重要である。

Meijerhof R. (2009b) は、温度が卵黄中の栄養貯蔵の利用や臍の完全閉鎖に重要な役割を果たすことを指摘した。さらに研究によれば、胚の温度が 2°F 異なるだけで、6週齢のブロイラーの増体および飼料効率 (FCR) に有意な差が生じることが示された。同じ温度差が、ひなの発育や一部の器官にも影響を与えた。

Hulet R. (2001) は、孵卵器の温度を実際の代謝熱の產生量に合わせることで、通常の孵化プログラムに比べて孵化率を約2%向上させることができることを示した。

大きな種卵は熱の放散が難しいため、ひなの品質が低下し、遺残卵黄が増加することが母鶏群が老鶏になるにつれてしばしば観察される。Lourens S.ら (2006) は、殻温が一定の場合、小さな卵および大きな卵の胚は、卵黄から体への栄養移行の効率が同等であることを示した。

現在、ひなの品質を評価するために使用される主な方法は2つある：

- ◆ ひなの体長を測定する方法
- ◆ Pasgar©スコア：1990年代にベルギーのルーヴェン大学で開発されたTonaスコアを簡略化したもの

→ ひなの体長

胚の発育は温度によって調節されるため、環境のあらゆる変化が胚の増体に影響を与える。前述の通り、高温は発育を加速させ、低酸素状態を促進するとともに、主なエネルギー源である脂質の利用を妨げる。胚はより迅速かつ強く炭水化物代謝へ、場合によってはタンパク質代謝へと切り替わる。

したがって、高温は一部の臓器（特に心臓）の増体速度や遺残卵黄に影響を及ぼす可能性がある。これは最初にRomanoff A.L. (1960年、Leksrisompong N.らによる2007年のレビュー) によって示され、その後多くの研究者によって確認された。



異なる温度環境下で育った2羽の雛の遺残卵黄、心臓の大きさおよび形態：

- ◆ 左：高温
- ◆ 右：通常温度

ひな質

大規模試験において、Hill D. (2001) は、頭から尾までのひなの体長が、母鶏群の週齢とともに増加することを観察した。ひなの体長はシングルステージの機械で長くなる傾向があり、また卵の置かれた位置によって相対的に変化した。さらに、老齢の母鶏群から生まれたひなは、中間週齢鶏群から生まれたひなよりも短いことが多かった。体長の短いひなを生産する孵化場からのひなは、育成中の死亡率が高くなることも分かった。このことから、ひなの体長は将来の成績を予測するための良い指標であると結論づけられた。

頭から尾までの体長は常にひなの品質を評価する最も明確な指標であった。しかし、結果は常に再現性があるわけではないことも判明した。そのため、くちばしの先端から中足趾の先端までを測定する、より再現性の高い体長測定方法が提案された。

→ 方法

- ◆ 各母鶏群からランダムに20羽のひなを採取する。
- ◆ 嘴の先端から中足趾の先端（爪は除く）までの体長を測定する。
- ◆ 平均値と均一性を計算する。
- ◆ 結果を母鶏群の週齢、卵重、孵化条件に関連付けて記録する。



若齢母鶏群由来のひなの体長は18.5～19.5 cm、中間週齢鶏群由来のひなは19.0～20.0 cm、老齢母鶏群由来の雛は19.5～20.5 cmの範囲で変動する。なお、ひなは孵化後も成長を続けるため、情報を比較する際には同時期に測定を行うことが重要である。

→ THE PASGAR[©] スコア

この方法は、定量的な測定であることに加え、ひなの体長よりも定性的な評価手法であり、全体的な孵化条件を評価することを目的としている。将来の成績を予測できるかどうかは疑問である (Meijerhof R. 2009b)。

→ 方法:

- ◆ 各母鶏群からランダムに50羽のひなを選ぶ。
- ◆ 以下の項目を評価する：



ひなの活力:

- ◆ 仰向けにした状態で直ちに起き上がる
(スコア = 0)。
- ◆ 起き上がるまでに3秒以上かかる
(スコア = 1)。

ひな質



へそ:

- ◆ へそが完全に閉じ、卵黄がすべて吸収されている場合（スコア = 0）。
- ◆ へそが開いている、または乾燥した臍帯が見える場合（スコア = 1）。



跗関節（足関節）：

- ◆ 跖関節に炎症がなく、色が正常（スコア = 0）。
- ◆ 跖関節が炎症を起こしている、または赤い（スコア = 1）。



クチバシ:

- ◆ クチバシが清潔で、鼻孔が閉じている（スコア = 0）。
- ◆ クチバシが汚れている、または赤い斑点がある（スコア = 1）。



腹部:

腹部の大きさは卵黄囊の大きさに依存し、基本的には孵卵中の温度と湿度に関連している。

- ◆ 柔らかい腹部（スコア = 0）。
- ◆ 硬い腹部、皮膚が張っている（スコア = 1）。

ひな質

- ◆ 各ひなごとに、各パラメータのスコアを記録する。
- ◆ 各ひなについて、各スコアを合計し、最大スコア10から差し引く。
- ◆ 平均値を算出する。

最適な孵卵条件では、平均で最低9以上の結果が得られるべきである（Pas Reform, 2006）。

胚死亡の分析と原因

このテーマに関しては多数の文献が存在する。以下に示す観察結果と考えられる原因是、主に Wilson H.R. (2004) の研究に基づいている。

→ 一般的な問題点

所見	考えられる原因
<ul style="list-style-type: none"> 移卵時の無精卵: 胚発生の兆候なし（未受精卵） 	<ul style="list-style-type: none"> 未成熟なオス 配雄率の不適正（オスが多すぎる、または少なすぎる） 極端な気候条件 老齢の親鶏群 健康問題 オスまたはメスの体重が重すぎる 栄養の過不足、給餉管理が厳しすぎる 特にオスの脚の問題 薬剤、農薬、毒素またはマイコトキシン 寄生虫 不適正な飼育密度 不適切な照明プログラム（光の強さや時間） 管理不良
<ul style="list-style-type: none"> 移卵時の無精卵: 胚発生の兆候あり（胚は受精している） 	<ul style="list-style-type: none"> 貯卵期間が長すぎる 貯卵条件不適（温度が高すぎるまたは低すぎる、温度変動） 不適切な燻蒸（過剰投与、孵化後12～96時間の間に燻蒸）、卵への消毒剤の誤った適用 ヒートショック 気孔が塞がれている 孵化初期の高温 親鶏群が若すぎるまたは老鶏 健康問題 洗卵水の温度が高すぎる 薬剤、毒素、農薬 集卵頻度が不十分または不完全
<ul style="list-style-type: none"> 移卵時の無精卵: 血輪や胚死亡（孵化3日未満、黒眼なし） 	<ul style="list-style-type: none"> 卵の貯卵が長すぎる、または温度が不適 不適切な燻蒸（過剰投与、孵化後12～96時間の間に燻蒸） 孵化初期の高温 孵化初期の温度不足 健康問題 親鶏群が老鶏 重度の栄養欠乏（ビオチン、ビタミンA、銅、ビタミンE、ホウ素、バントテン酸） 薬剤、毒素、農薬 汚染 産卵時の胚発育不良
<ul style="list-style-type: none"> 中止卵（胚死亡）: 孵化3～6日、血液循環系あり、胚は左側を向く、卵歯なし 	<ul style="list-style-type: none"> 前筋参照 換気不足または気孔閉塞 転卵不十分 転卵角度不適 ビタミン欠乏：ビタミンE、リボフラビン、ビオチン、バントテン酸、リノール酸
<ul style="list-style-type: none"> 中止卵（胚死亡）: 孵化7～17日、卵歯・爪あり、羽毛原基（8日）または羽毛（11日） 	<ul style="list-style-type: none"> 孵化中の温度、湿度、転卵または換気不適 汚染 栄養欠乏：リボフラビン、ビタミンB12、ビオチン、ナイアシン、ピリドキシン、バントテン酸、リノール酸、リン、ホウ素

胚死亡の分析と原因

所見	考えられる原因
<ul style="list-style-type: none"> • 中止卵（胚死亡）： 孵化18日目以降 	<ul style="list-style-type: none"> • セッター内の温度、湿度、転卵、換気不適 • ハッチャー内の温度、湿度、換気不適 • 汚染 • 過剰または長時間の燻蒸 • 移卵時に卵が冷却された、または移卵が遅すぎた • 入卵前、孵化中、移卵中の卵の破損 • 栄養欠乏：ビタミンD、ビタミンA、葉酸、パントテン酸、リボフラビン、ビタミンE、セレン、ビタミンK、ビオチン、チアミン、ビタミンB12、カルシウム、リン、マンガン、リノール酸 • 胚の位置異常 • ハッチャーを嘴打ちや発生中に頻繁に開ける • 卵殻品質不良 • 健康問題

→ 特定の問題：

所見	考えられる原因
<ul style="list-style-type: none"> • 嘴打ち口を開けていない卵、胚は完全に形成されているが、遺残卵黄が多く、一部の卵黄が完全に吸収されておらず、卵白が残っている 	<ul style="list-style-type: none"> • 不適切な転卵 • 孵化中または移卵後の温度が高すぎる • 孵化中の温度が不十分 • ハッチャーの温度が高すぎる • 移卵時に卵が冷やされた • 栄養不足 • 健康問題 • 換気不十分 • 長期間の貯卵
<ul style="list-style-type: none"> • 嘴打ち口を開けた卵、胚は完全に形成されているが、卵内で死亡 	<ul style="list-style-type: none"> • 長期間にわたる温度または湿度の不足 • ハッチャー内の湿度不足 • ハッチャーの高温 • 栄養不足 • 健康問題 • 換気不十分 • 初期12日間の不適切な転卵 • 移卵時の衝撃 • 長期貯卵
<ul style="list-style-type: none"> • 嘴打ち口を部分的に開けた卵、胚は死亡または生存 	<ul style="list-style-type: none"> • 発生中の過剰な燻蒸 • 銳端を上にして孵化した卵
<ul style="list-style-type: none"> • 孵化が早い、騒がしい雛 	<ul style="list-style-type: none"> • 小さい卵 • 品種間の違い • 孵卵器の温度が高すぎる • 孵卵器の温度が低すぎる
<ul style="list-style-type: none"> • 孵化が遅れる 	<ul style="list-style-type: none"> • 大きい卵 • 老鶏母鶏群 • 長期貯卵 • 孵化中の温度不足 • 卵が弱い • 孵化中の温度が高すぎる
<ul style="list-style-type: none"> • ハッチウィンドウが長すぎる 	<ul style="list-style-type: none"> • 同じ孵卵器に異なる貯卵期間の卵を混合 • 若齢母鶏群と老齢母鶏群の卵を混合 • 小さい卵と大きい卵を混合 • 卵の取り扱い不適切 • セッター・ハッチャーに温度のムラ（ホットスポット／コールドスポット） • セッター・ハッチャー温度が高すぎるまたは低すぎる
<ul style="list-style-type: none"> • 異なるハッチャーバスケット間での不均一な発生 	<ul style="list-style-type: none"> • 小さい卵と大きい卵を混合 • 若齢母鶏群と老鶏母鶏群の卵を混合 • 異なる品種の卵を混合 • 一部の卵の長期貯卵 • セッターまたはハッチャーの換気不十分 • 1鶏群以上の健康問題 • 貯卵条件の違い

胚死亡の分析と原因

所見	考えられる原因
• 粘着したヒナ、羽毛に卵白の痕跡	<ul style="list-style-type: none"> • 孵化中の温度不足 • 孵化中の温度過多 • 不適切な転卵 • 古い種卵 • 卵が大きすぎる
• 卵殻にくついたひな、羽毛に一部卵殻が付着	<ul style="list-style-type: none"> • 貯卵、孵化中、或いは発生時の温度不足 • 不適切な転卵 • 卵の破損や卵殻の質が悪い
• 孵化が早い、臍のホタンが残る	<ul style="list-style-type: none"> • 孵化または発生中の温度が高すぎる
• 小さいひな	<ul style="list-style-type: none"> • 卵が小さい • 貯卵や孵化中の温度不足 • 孵化中の温度が高すぎる • 多孔質または弱い卵殻
• 臍が閉じていない、乾燥した羽毛	<ul style="list-style-type: none"> • 孵化中の温度が高すぎ、または温度変動 • 発生時の温度不足 • 発生後期の湿度過多または換気不足 • 種鶏飼料の栄養不適
• 臍が閉じていない、湿っている、臭いを放つ。大きなヒナ、元気がない、腹部が柔らかい	<ul style="list-style-type: none"> • 臍炎 • セッター内温度不足 • セッターまたはハッチャー内の湿度過多 • 換気不足
• 弱いひな	<ul style="list-style-type: none"> • ハッチャー内の温度高すぎ • ハッチャー内換気不足 • 過剰な燐蒸 • 汚染
• 胎位異常	<ul style="list-style-type: none"> • 鋭端を上にして孵化された種卵 • 不適切な転卵 • 孵化中の温度高すぎ・低すぎ • 湿度過多 • 老鶏母鶏群 • 卵が大きすぎる • 栄養不足（特にビタミンA、B12） • 輸送・貯卵状態不良
• 奇形	<ul style="list-style-type: none"> • 不適切な貯卵条件 • 種卵輸送条件不良 • 栄養不足（ビオチン、リボフラビン、亜鉛、マンガン） • 不適切な転卵 • 卵の向き不良（鋭端が上） • 孵化中の温度高すぎ・低すぎ • 健康問題 • 換気不十分または厚い卵殻
• カールしたつま先、開いた脚	<ul style="list-style-type: none"> • 孵化中の温度高すぎ・低すぎ • 栄養問題 • ハッチャーバスケット表面が湿っている
• 短い羽毛、乾燥、粗い	<ul style="list-style-type: none"> • 栄養不足（特にリボフラビン） • マイコトキシンや栄養障害を引き起こす因子 • 孵化初期14日間の高温
• 目が閉じ、羽毛が目に張り付く	<ul style="list-style-type: none"> • ハッチャー内の温度過高 • ハッチャー内の温度不足 • ホコリ回収システムの不適切な機能 • 発生後ひながハッチャーに長時間放置 • ハッチャー内の過剰な空気循環
• 矮小ひな、不十分な成長	<ul style="list-style-type: none"> • 種卵の汚染 • 孵化場の汚染（特に発生時） • 健康問題 • 栄養不足 • 甲状腺異常

胚死亡の分析と原因

所見	考えられる原因
<ul style="list-style-type: none"> 爆発卵 	<ul style="list-style-type: none"> 汚れた種卵やネスト 巣外卵 種卵の不適切な洗浄、乾燥が不十分、汚れた布で拭いた母鶏群鶏舎、貯卵室、輸送車のほこり 卵殻表面の結露 汚染された液体で卵をスプレー 他の爆発卵による汚染 汚れた手で種卵を扱う
<ul style="list-style-type: none"> 片目または両目が欠損 	<ul style="list-style-type: none"> 孵化初期6日間の温度が高すぎる 孵化初期6日間の酸素不足
<ul style="list-style-type: none"> 脳が露出 	<ul style="list-style-type: none"> 孵化初期3日間の温度が高すぎる 孵化初期の3日間の酸素不足
<ul style="list-style-type: none"> 異所性内蔵 	<ul style="list-style-type: none"> セッター内の温度が高い
<ul style="list-style-type: none"> 出血 	<ul style="list-style-type: none"> 皮下出血：セッターまたはハッチャー内温度が高い 羊膜膜出血：移卵時の不適切な卵取り扱い 栄養不足（ビタミンKまたはE） 孵化11～15日目の中止卵で濃赤色を示す場合：細菌または真菌による汚染
<ul style="list-style-type: none"> 孵化済み、または嘴打ち済みだが、孵化していないひなの関節が赤い 	<ul style="list-style-type: none"> 発生が困難 ビタミン欠乏 硬い卵殻 孵化中の高湿度および／またはハッチャー内の高温
<ul style="list-style-type: none"> 小さな気室、大きな嘴打ち領域、無傷の膜、関節の赤み、浮腫、残存卵白、卵黄囊未吸収、水分損失10%未満 	<ul style="list-style-type: none"> セッター内湿度高すぎ 硬すぎる卵殻 セッター内温度不足

胚死亡の分析と原因

所見	考えられる原因
<ul style="list-style-type: none"> • マイクロメリア（長骨の短縮、オウム嘴や弓状脚）、軟骨異形成 • 短い嘴、嘴欠損、顔の異常 • 首や頭の腫れ（渗出性素因） 	<ul style="list-style-type: none"> • 栄養不足（ビオチンまたはマンガン） • 孵化初期5日間の温度が高い • 栄養不足（ナイアシン） • 栄養不足（ビタミンEまたはセレン）
	

→ 栄養不足および毒素

栄養素	欠乏かつ/および過剰摂取の影響
• ビタミン A	<ul style="list-style-type: none"> • 静脈系の異常発達 • 骨格異常（特に頭蓋骨や脊椎） • 脳、脊椎、神経の変性 • 初期胚死亡（孵卵初期2～3日） • 孵化したひなは目の分泌物やまぶたの閉鎖などの症状を示すことがある • 過剰摂取でも骨格異常を引き起こすことがある
• ビタミン D ₃	<ul style="list-style-type: none"> • 後期胚死亡（17日目以降） • 育成期の増体不良 • 不十分な骨格発達
• ビタミン E	<ul style="list-style-type: none"> • 循環器系の問題 • 浸出性素因 • 出血 • 脳軟化症 • 目の異常 • 首や脚の浮腫 • 胚死亡（孵卵2～5日） • 発生後の筋力低下
• ビタミン K	<ul style="list-style-type: none"> • 胚や膜の出血（発生直前または発生時）
• チアミン（ビタミンB1）	<ul style="list-style-type: none"> • 多発性神経炎 • 初期および後期胚死亡（19日目以降） • ハッチャーバスケット内で多数の死亡ひな
• リボフラビン（ビタミンB2）	<ul style="list-style-type: none"> • 短い脚 • 循環器系の乱れ • 浮腫 • 摧じられたつま先 • 小肢症 • 貧血 • 肝臓の褐色または濃緑色 • 胚死亡（孵卵3～5日、10～15日および21日）

胚死亡の分析と原因

栄養素	欠乏かつ/および過剰摂取の影響
• ナイアシン	<ul style="list-style-type: none"> 筋肉の過形成 浮腫 短い上クチバシ 静脈系・神経系の異常 胚死亡（孵化8～14日目）
• ビタミンB ₆ (ピリドキシン)	<ul style="list-style-type: none"> 成長阻害 胚死亡（孵化8～14日目）
• パントテン酸	<ul style="list-style-type: none"> 皮下出血 浮腫 水頭症 羽毛欠損 つま先のねじれ 胚死亡（孵化2～4日、11～15日目）
• ピオチン	<ul style="list-style-type: none"> 軟骨異形成 小肢症（マイクロメリア） 合指症 胚および膜の出血 胚死亡（孵化3～4日、17日目以降）
• 葉酸	<ul style="list-style-type: none"> 合指症 骨の湾曲 異形頭、小眼、内臓異所症 オウム嘴、その他クチバシ異常 胚死亡（孵化17日目以降）
• ビタミンB ₁₂	<ul style="list-style-type: none"> 浮腫（特に目の周囲） 出血 つま先のねじれ 短いクチバシ 脚筋の発達不良 姿勢異常（頭が脚の間） 胚死亡（孵化8～14日、16～18日目）
• マンガン	<ul style="list-style-type: none"> 軟骨異形成 骨格変形 長骨の短縮 オウム嘴 小肢症 浮腫 胚死亡（孵化18日目以降） ひなの協調運動障害
• 亜鉛	<ul style="list-style-type: none"> 骨格異常（特に脊椎） 小眼 内臓異所症 クチバシや頭の異常 弱いひな
• カルシウム	<ul style="list-style-type: none"> 間接的影響：卵殻質不十分、過剰体重減少、汚染リスク増加 成長不良
• マグネシウム	<ul style="list-style-type: none"> 震え、けいれん 呼吸困難
• リン	<ul style="list-style-type: none"> 骨変形 胚死亡（孵化14～16日目）
• 銅	<ul style="list-style-type: none"> 血液・循環器系の異常 初期胚死亡のピーク（孵化3日目以前）
• セレン	<ul style="list-style-type: none"> 浸出性素因 過剰摂取で頭部・頸部の浮腫、脚のねじれ、脳・骨髄壞死、短い上クチバシ、姿勢異常の発生率増加

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Baggott G.K. (2001). Development of extra-embryonic membranes and fluid compartments. In: Deeming D.C. (ed.). Perspectives in Fertilisation and Embryonic Development in Poultry. Lincolnshire, UK: Ratite Conference Books, 23-29.
- Boerjan M. (2005). Genetic progress inspires changes in incubator technology. Pas Reform Hatchery Technologies. Bovendorpsstraat 11, 7038 CH, P.O. Box 2, 7038 ZG Zeddam, The Netherlands.
- Brake J., Walsh T., Benton C., Petitte J., Meijerhof R. and Peñalva G. (1997). Egg handling and storage. *Poultry Science*, 76, 144-151.
- Christensen V.L., Wineland M.J. and Fairchild B.D. (2001). Changes in cardiac energy metabolism during the plateau stage in oxygen consumption of the turkey embryo. *Avian and Poultry Biology Reviews*, 12, 4: 169-202.
- Cutchin H.R., Wineland M.J., Christensen V.L., Davis S. and Mann K.M. (2009). Embryonic development when eggs are turned different angles during incubation. *Journal of Applied Poultry Research*, 18, 447-451.
- Dane A.C, Burggren W.W. and Altimiras J. (2003). Cardiovascular regulation during hypoxia in embryos of the domestic chicken *Gallus gallus*. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 284, R219-R226.
- Decuypere E. and Michels H. (1992). Incubation temperature as a management tool: a review. *World's Poultry Science Journal*, 48, 28-38.
- Decuypere E., Tona K., Bruggeman V. and Bamelis F. (2001). The day-old chick: a crucial hinge between breeders and broilers. *World's Poultry Science Journal*, 57, 127-138.
- Decuypere E., Onagbesan O., De Smit L., Tona K., Everaert N., Witters A., Debonne M., Verhoelst E., Buyse J., Hassanzadeh M., De Baerdemaeker J., Arckens L. and Bruggema, V. (2006). Hypoxia and hypercapnia during incubation of chicken eggs: effects on development and subsequent performance. *World's Poultry Science Journal (Suppl)*, 486-490.
- Deeming D. (2000). Storage of hatching eggs. *Poultry International*, 39, 13:44-50.
- De Lange G. (2009). Storage of hatching eggs. *International Hatchery Practice*, 23, 4:29.
- Dorn D.J. (2010). The effect of non-ventilated or hypercapnic incubation on embryonic development and embryonic heart development of two broiler-lines (Ross 308 and Isa JA 757). Freie Universität Berlin, Berlin, Germany. Thesis, 187 pp.
- Elibol O., Peak S.D. and Brake J. (2002). Effect of flock age, length of egg storage, and frequency of turning during storage on hatchability of broiler hatching eggs. *Poultry Science*, 81, 945-950.
- Elibol O. and Brake J. (2003). Effect of frequency of turning from three to eleven days of incubation on hatchability of broiler hatching eggs. *Poultry Science*, 82, 357-359.
- Elibol O. and Brake J. (2006a). Effect of egg turning angle and frequency during incubation on hatchability and incidence of unhatched broiler embryos with head in the small end of the egg. *Poultry Science*, 85, 1433-1437.
- Elibol O. and Brake J. (2006b). Effect of flock age, cessation of egg turning, and turning frequency through the second week of incubation on hatchability of broiler hatching eggs. *Poultry Science*, 85, 1498-1501.
- Eyal-Giladi H. and Kochav S. (1976). From cleavage to primitive streak formation: A complementary normal table and a new look at the first stages of the development of the chick. I. General morphology. *Developmental Biology*, 49, 321-337.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Fasenko G.M., Robinson F.E., Whelan A.I., Kremeniuk K.M. and Walker J.A. (2003a). Effects of pre-storage incubation on the hatchability of long-term stored broiler breeder eggs. New developments in reproduction and incubation of broiler chickens. Volume 2 : Broiler breeder production series. Spotted Cow Press.
- Fasenko G.M., Robinson F.E., Ford E.M., Gruber L.M. and Lehmann H.R. (2003b). Does incubation between egg storage at the farm and the hatchery improve hatchability of eggs stored for 14 days? New developments in reproduction and incubation of broiler chickens. Volume 2 : Broiler breeder production series. Spotted Cow Press.
- Fasenko G.M. (2007). Egg storage and the embryo. *Poultry Science*, 86, 1020-1024.
- French N.A. (1997). Modelling incubation temperature: The effects of incubator design, embryonic development and egg size. *Poultry Science*, 76, 124-133.
- French N.A. (2010). Tips for successful hatchery management. *Poultry International*, August, 30-33.
- Hill D. (2001). Chick quality uniformity profiles as a field measurement of chick quality? *Avian and Poultry Biology Reviews*, 12, 4: 169-202.
- Hulet R. (2001). Chick quality, the result of maximising embryonic metabolism. *Avian and Poultry Biology Reviews*, 12, 4: 169-202.
- Hulet R., Gladys G., Hill D., Meijerhof R. and El-Shiekh T. (2007). Influence of egg shell embryonic incubation temperature and broiler breeder flock age on posthatch growth performance and carcass characteristics. *Poultry Science*, 86, 408-412.
- Jin Y., Lee K.T., Lee W.I. and Han Y.K. (2011). Effects of storage temperature and time on the quality of eggs from laying hens at peak production. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 24, 2:279-284.
- Khaner O. (1993). Axis determination in the avian embryo. *Current Topics in Developmental Biology*, 28, 155-180.
- Leksrisompong N., Romero-Sanchez H., Plumstead P.W., Brannan K.E. and Brake J. (2007). Broiler incubation. 1. Effect of elevated temperature during late incubation on body weight and organs of chicks. *Poultry Science*, 86, 2685-2691.
- Lapão C., Gama L.T. and Chaveiro Soares M. (1999). Effects of broiler breeder age and length of egg storage on albumen characteristics and hatchability. *Poultry Science*, 78, 640-645.
- Lourens A., Van den Brand H., Meijerhof R. and Kemp B. (2005). Effect of eggshell temperature during incubation on embryo development, hatchability and post-hatch development. *Poultry Science*, 84, 914-920.
- Lourens A., Molenaar R., Van den Brand H., Heetkamp M.J.W., Meijerhof R. and Kemp B. (2006). Effect of egg size on heat production and the transition of energy from egg to hatchling. *Poultry Science*, 85, 770-776.
- Mahmud A. and Pasha T.N. (2008). Effect of storage, pre-heating and turning during holding period on the hatchability of broiler breeder eggs. *Pakistan Veterinary Journal*, 28, 3:153-154.
- Medway W. and Kare M.R. (1957). Water metabolism of the domestic fowl. From hatching to maturity. *American Journal of Physiology*, 190, 139-141.
- Meijerhof R. (1992). Pre-incubation holding of hatching eggs. *World's Poultry Science Journal*, 48, 57-68.
- Meijerhof R. (2009a). Principles of moisture loss during incubation. HatchTech Incubation Technology. Technical Information.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Meijerhof R. (2009b). The influence of incubation on chick quality and broiler performance. Australian Poultry Science Symposium, 20, 167-170.
- Molenaar R. (2010). Perinatal development and nutrient utilization in chickens. Effects of incubation conditions. Thesis. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- Molenaar R., Reijrink I., Meijerhof R. and Van den Brand H. (2010). Meeting embryonic requirements of broilers throughout incubation: A Review. Brazilian Journal of Poultry Science, 12, 3: 137-148.
- Pas Reform (2006). Guide d'incubation. Œufs de poule (poulets de chair). Pas Reform Incubation Technologies, 50 pp.
- Proudfoot F. (1966). Hatchability of stored chicken eggs as affected by daily turning during storage and pre-warming and vacuuming eggs enclosed in plastic with nitrogen. Canadian Journal of Animal Science, 46, 47-50.
- Rahn H. and Ar A. (1974). The avian egg: incubation time and water loss. The Condor, 76, 147-152.
- Reijrink I., Meijerhof R., Kemp B. and Van den Brand H. (2008). The chicken embryo and its micro-environment during egg storage and early incubation. World's Poultry Science Journal, 64, 581-598.
- Reijrink I. (2009). How to survive prolonged egg storage? HatchTech Incubation Technology. Technical Information.
- Reijrink I., Van Duijvendijk L.A., Meijerhof R., Kemp B. and Van den Brand H. (2010a). Gas concentrations during storage do not affect hatchability and chick quality. Poultry Science, 89, 1992-2000.
- Reijrink I., Berghmans D., Meijerhof R., Kemp B. and van den Brand H. (2010b). Influence of egg storage duration and preincubation warming profile on embryonic development, hatchability and chick quality. Poultry Science, 89, 1225-1238.
- Robertson I. (1961a). Studies on the effect of humidity on the hatchability of hen's eggs. I. The determination of optimum humidity for incubation. The Journal of Agricultural Science, 57, 185-194.
- Robertson I. (1961b). The influence of turning on the hatchability of hens' eggs. I. The effect of rate of turning on hatchability. Journal of Agricultural Science of Cambridge, 57, 49-56.
- Romijn C. and Lokhorst W. (1960). Foetal heat production in the fowl. Journal of Physiology, 150, 239-249.
- Sauter E.A. and Petersen C.F. (1974). The effect of egg shell quality on penetration by various *Salmonellae*. Journal of Poultry Science, 53, 2159-2162.
- Sauveur B. (1988). Reproduction des volailles et production d'œufs. INRA. Station de recherches avicoles. Centre de Tours-Nouzilly, 37380 Monnaie. 449 p.
- Thornton G. (2011). Managing the hatch window. Watt Poultry USA, March, 20-22.
- Tona K., Bamelis F., Coucke W., Bruggeman V. and Decuypere E. (2001a). Relationship between broiler breeder's age and egg weight loss and embryonic mortality during incubation in large-scale conditions. Journal of Applied Poultry Research, 10, 221-227.
- Tona K., Decuypere E. and Coucke W. (2001). Effects of strain, hen age and transferring eggs from turning to stationary trays after 15 to 18 days of incubation. British Poultry Science, 42, 5: 663-667.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Tona K., Onagbesan O., De Ketelaere B., Decuypere E. and Bruggeman V. (2003). Effects of turning duration during incubation on corticosterone and thyroid hormone levels, gas pressures in air cell, chick quality and juvenile growth. *Poultry Science*, 82, 1974-1979.
- Tona K., Onagbesan O., De Ketelaere B., Decuypere E. and Bruggeman V. (2004). Effects of age of broiler breeders and egg storage on egg quality, hatchability, chick quality, chick weight, and chick post-hatch growth to forty-two days. *Journal of Applied Poultry Research*, 13, 10-18.
- Tona K., Onagbesan O., Bruggeman V., Mertens K. and Decuypere E. (2005). Effects of turning duration during incubation on embryo growth, utilization of albumen, and stress regulation. *Poultry Science*, 84, 315-320.
- Van de Ven L. (2003). Storage of hatching eggs in the production process. *International Hatchery Practice*. 18 : 8, 27-31.
- Walsh T., Rizk R.E. and Brake J. (1995) Effects of temperature and carbon dioxide on albumen characteristics, weight loss and early embryo mortality of long stored hatching eggs. *Poultry Science*, 74, 1403-1410.
- Wilson H.R. (1991). Physiological requirements of the developing embryo: temperature and turning. In: *Avian Incubation*. Tullet S.G. editions, 145-156.
- Wilson H.R. (2004). Hatchability problem analysis. University of Florida. IFAS extension. 13 pp.
- Wineland M.J., Christensen V.L., Fairchild B.D. and Yildrim I. (2001). Effect of temperature and oxygen upon embryos during the plateau stage. *Avian and Poultry Biology Reviews*, 12, 4: 169-202.
- Yalçın S., Molayoğlu H.B., Baka M., Genin O. and Pines M. (2007). Effect of temperature during the incubation period on tibial growth plate chondrocyte differentiation and the incidence of tibial dyschondroplasia. *Poultry Science*, 86, 1772-1783.
- Yassin H., Velthuis A.G.J., Boerjan M., van Riel J. and Huirne R.B.M. (2008). Field study on broiler eggs hatchability. *Poultry Science*, 87, 2408-2417.



Hubbard

AMERICAS

HUBBARD LLC

195 Main Street - P.O. Box 415 - Walpole NH 03608 - U.S.A.

TEL. +1-603.756.3311 - FAX +1-603.756.9034

contact.americas@hubbardbreeders.com

E.M.E.A./Brazil

HUBBARD S.A.S.

Le Fœil - P.O. Box 169 - 22800 Quintin - FRANCE

TEL. +33-(0)2.96.79.63.70 - FAX +33-(0)2.96.74.04.71

contact.emea@hubbardbreeders.com

ASIA

HUBBARD S.A.S.

Le Fœil - P.O. Box 169 - 22800 Quintin - FRANCE

TEL. +33-(0)2.96.79.63.70 - FAX +33-(0)2.96.74.04.71

contact.asia@hubbardbreeders.com

www.hubbardbreeders.com