

## スライド1

養豚による気候への影響を軽減する新たな知見・・・  
ベストプラクティスの具体例と今後の構想について

## スライド2

本日のテーマに入る前に、まずはデンマークの養豚について簡単にご紹介したいと思います。2021年、デンマークでは約2,500戸の養豚農家があり、約100万頭の母豚をベースに約3,300万頭の豚を生産していました。その3,300万頭のうち子豚、約1,450万頭をドイツやポーランドを中心とする欧州諸国に輸出しました。

デンマークでは約1,850万頭の豚を屠畜しましたが、その大部分、約90%が輸出されました。デンマークの豚はデンマーク国内で栽培された小麦や大麦を中心とした穀物と、輸入された大豆ミールを飼料にしています。

## スライド3

世界のどこの国でもそうですが、デンマークでも養豚農家はどんどん減っています。過去30年間、1990年には約30,000戸だったものが現在では2,500戸以下にまで減少しています。この間、デンマークの豚肉の生産量は2倍以上になりました。これは母豚の数が劇的に増えたからではなく、生産効率が大幅に改善したからです。

## スライド4

本日の私のプレゼンテーションのテーマは、豚の生産による気候への影響の軽減ですが、持続可能な豚の生産は気候や環境への影響の軽減だけではないことを述べておくことが重要だと思います。豚の生産は社会的に持続可能でなければなりません。つまり、トレーサビリティ、食の安全、動物福祉、抗生物質の使用などの面で、周辺地域やお客様の期待に応える形で豚を生産する必要があります。さらに、生産は経済的にも持続可能でなければなりません。動物福祉や気候への影響の少なさに対する要求が高まる中で、養豚農家が生産により利益を得ることができなければ、生産は自然に停止します。しかし、先ほど申し上げたように、今日は主に豚の生産における温室効果ガス排出の削減についてお話を致します。

## スライド5

農業や養豚が気候に与える影響の軽減について語るとき、私たちは CO<sub>2</sub>について限られた範囲でしか語っていないことを理解することが重要です。その代わりに、生物学的プロセスの結果である温室効果ガスのメタンと亜酸化窒素について話したいと思います。

そこで、地球温暖化係数（GWP）という概念を思い出して頂きたいのです。GWP とは、ある温室効果ガスが特定に期間（通常は100年）において、地球温暖化にどのくらい影響するかを示す指標です。GWP は、ある温室効果ガスの温暖化係数（GWP）が1である二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）と比較することで算出されます。

例えば、メタン（CH<sub>4</sub>）は CO<sub>2</sub> よりもはるかに高い温暖化係数を持つため、100年間の GWP は28になります。つまり、100年間で1トンのメタンが大気中に排出されると、1トンの CO<sub>2</sub> の28倍の温暖化効果を持つことになります。

また、亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）などの温室効果ガスも、CO<sub>2</sub> よりもはるかに高い GWP を有しています。

## スライド6

農業から排出される温室効果ガスは、主に畑の施肥に伴う植物生産から発生する亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）で、人工肥料と家畜の糞尿の両方が影響します。さらに、家畜の消化過程、畜舎内の糞尿、そして糞尿貯蔵タンクから発生するメタンです。エネルギーと輸送による CO<sub>2</sub> 排出量は農業による排出量に占める割合は非常に小さく、特に電力に関しては、グリーンな代替品への取り組みが集中的に行われており、デンマークはグリーン電力への移行を進めています。

## スライド7

豚肉生産に焦点を当ててみます。豚肉生産による温室効果ガス排出の分布を見ると、輸送と屠畜のプロセスでは非常に小さな割合であることがわかります。温室効果ガス排出は第一次産業に多く、飼料の消費と糞尿に大きく影響されます。つまり、豚肉生産の温室効果ガス排出のほとんどは養豚の最終段階にあるということです。

## スライド8

豚の出生からと畜場への搬入までにおける、様々な排出源と温室効果ガス排出の割合をこの図に示しています。緑色の部分は飼料の消費量を表し、この例では豚の生産における温室効果ガス排出の67%を占めています。これは、畑から亜酸化窒素（N<sub>2</sub>O）が排出されるためです。生産効率が高いほど、つまり豚の成長が早く、飼料効率が良いほど、温室効果ガス排出が低くなることも意味しています。デンマークの条件下では養豚の最終段階での飼料効率を0.1向上させると、温室効果ガス排出は2.5%減少します。図の中のオレンジ色で示された2番目に大きな領域は、糞尿の処理と貯蔵で、この例では温室効果ガス、すなわちメタン生成量が17%であることを示しています。このメタンガスによる温室効果ガス排出量は、様々な技術によって大幅に削減することが可能です。

## スライド9

そのため、飼料部分からの温室効果ガス排出量を減らすためには、豚をできるだけ効率的に飼育し、温室効果ガスの排出量の少ない配合飼料を選択することが必要です。この点で、デンマークの養豚農家の多くが、豚の餌となる穀物（主に小麦と大麦）を自給していることは重要なポイントです。デンマークは穀物の自給率が高く、地理的な条件もあって、収穫量が多く、施肥や肥料を効率的に使うことが出来るため、低い温室効果ガス排出でこれらの作物を栽培することが可能です。今年末までに、デンマークの豚に与える大豆ミールの60%が、森林破壊を伴わない持続可能な方法で生産される予定で、2025年までには100%を目指しています。

## スライド10

この図は、デンマークの屠畜豚における過去30年間の1日あたりの体重の増加と飼料効率の推移を示したもので、2030年での効率も予測しています。デンマークの屠畜豚は現在、飼料消費量が2.5kgに対し、体重が1日あたり1kg以上増えています。

## スライド11

この図は、2021年にインターピッグ・コラボレーションに参加した国の屠畜豚の1日あたりの体重増加の平均を示しています。ご覧の通り、デンマークの豚の体重増加率が最も高く、効率の高さは温室効果ガス排出の低減につながっています。

## スライド12

それでは、次に最終段階の豚から母豚に話を移します。この図は、デンマークの過去30年間の母豚1頭あたりの年間子豚数と母豚1頭あたりの年間飼料消費量の推移を示したものです。最終段階の豚と同じように、2030年に向けての予測を立てました。飼料消費量をあまり増やすことなく、母豚1頭あたり1年間で、おおよそ0.5頭の子豚の増産という効率改善に成功しました。

## スライド13

この図は、2021年にインターピッグ・コラボレーションに参加した国の母豚1頭あたりの1年間の子豚数を示したものです。ご覧の通り、デンマークは世界で圧倒的に効率の良い母豚を飼っている国です。母豚がより多くの豚を生むことが出来れば、母豚による気候変動への影響をより多くの豚に分散させることができるのです。

## スライド14

この図はあくまで飼料消費量をまとめたものですが、1990年から2020年までの推移を示しています。棒グラフの一番下の紺色の部分が、母豚1頭あたりの飼料消費量を示しています。グレーの部分は子豚1頭あたりの飼料消費量、濃い緑色の部分は屠畜豚1頭あたりの飼料消費量で、全体としてデンマークでは過去30年間で飼料効率が20%向上していることがわかります。

## スライド15

それでは畜舎で、メタン生成をいかに抑えられるかを考えてみます。豚の消化器官や糞尿中の嫌気性条件下でメタンはバクテリアにより生成されず。一般的にメタン生成菌は温度が高いほど効率よく増殖します。デンマークの畜舎の平均温度は約18-20℃ですが、畜舎の外はもっと低いです。

## スライド16

糞尿や豚の腸内の嫌气的条件下で、メタンはバクテリアによる炭素変換で生成されます。畜舎から排出されるメタンの約80%は、糞尿ピットで生成されず。現在、畜舎から発生するメタンを気体の状態で処理・除去できる技術は存在しません。新鮮な糞尿は、バクテリアの数が少なく活性が低いため、メタン生成量が非常に少ないので、糞尿を頻繁にバキューム排出することで、糞尿を高温の畜舎から外の貯蔵タンク内の涼しい環境に移動させ、メタン排出量を大幅に削減することが可能です。

#### スライド17

糞尿の処理と貯蔵のベストプラクティスと言えば、出来だけ頻繁に畜舎から糞尿を移動し、メタンガスを除去するバイオガスプラントに輸送することが目標です。その後、余分なメタンを除去するために、糞尿を防水シートで覆われた貯蔵タンクに保管する必要があります。現在、デンマークではバイオガスプラントで処理される豚の糞尿の量が大幅に増加しています。

#### スライド18

SEGES Innovation が実施したプロジェクトで、畜舎からの糞尿の排出頻度による効果が調査されました。通常、デンマークの畜舎では35日ごとに糞尿を排出しています。14日ごとに排出すると、畜舎でのメタン排出量が24%削減出来ました。週に一度にすると、約45%削減されました。

#### スライド19

また、畜舎内の糞尿を素早く排出する方法として、Scraping system があります。これによって、日々、畜舎の糞尿を排出することが可能になります。2つの畜舎を使い、毎日糞尿を排出した場合の効果を調査しました。いずれの場合も畜舎からのメタン排出量を大幅に削減することが出来ました。なお、Aの畜舎とBの畜舎では排出量に大きな差がありました。Bの畜舎は新設の施設であったため、糞尿の排出経路におけるメタン生成菌の量はAの畜舎よりも少なかったと考えられます。

#### スライド20

畜舎からのメタン排出を減らすもう一つの方法は、糞尿を酸性化することです。他の多くのバクテリアや微生物と同様に、メタン生成菌は低い pH に影響を受けやすい。

デンマークでは、糞尿を酸性化するシステムが開発されています。このように酸性化システムを導入した畜舎では、アンモニアの排出量も大幅に減少し、現在進行中の研究では、畜舎からのメタン排出量が約75%減少していることが示されています。

## スライド21

一般的には、糞尿を畜舎から早く排出し、可能であればバイオプラントで処理することが重要です。バイオガスプラントで糞尿を処理できない場合は、糞尿貯蔵タンク内での対策、つまりタンクからのメタン排出量を減らすことが適切です。そこで、デンマークではタンク内の糞尿を酸性化する実験を行っています。もちろん、これは主に夏場に関係することで、気温が上昇すれば、メタン排出量も多くなります。昨年の実験ではタンク内の酸性化によって65%のメタン排出量が削減されましたが、前述の通り、より正確な調査を今、進めているところです。

## スライド22

糞尿貯蔵タンクからのメタン排出を減らすために、デンマークでは現在、燃焼やバイオフィルターなどによる技術も研究されています。燃焼には比較的高いメタン濃度が必要なため、蓋付の糞尿貯蔵タンクは空気を遮断した完全な機密性を確保する必要があります。また、冬場などメタンガスの発生が少ない時期にはガスを供給する必要があると思われます。デンマーク工科大学 DTU では、現在、糞尿貯蔵タンクからのメタン排出を削減する手段として、バイオフィルターの実験を行っています。テントで覆われたタンクから空気を集め、コンポスト（たい肥）のバイオフィルターに通す。たい肥の中のメタン消費菌がメタンをCO<sub>2</sub>に酸化させるというものです。

## スライド23

このスライドは少し分かりにくいものですが、要するに、毎週あるいは毎日、頻繁に糞尿を畜舎から排出することで、（メタンの排出量を）16~28%削減することが可能であることを示したものです。したがって、頻繁に糞尿を排出する場合は、糞尿貯蔵タンクの技術（できればバイオガスプラントで糞尿を処理する）と組み合わせる必要がありますが、どのような状況でも、畜舎から頻繁に糞尿を除去することと糞尿貯蔵タンクからのメタンの排出を削減する技術を組み合わせることによって、大きな気候変動対策効果を得ることが出来ます。

## スライド24

2030年に向けて、豚が生まれてから屠畜されるまでの気候への影響を考えると、この図がデンマークの養豚産業の発展を表していると思います。

棒グラフの緑色の部分が飼料による気候への影響、赤色の部分が糞尿の取扱と貯蔵による気候への影響です。デンマークでは生産性の向上や、より気候変動に配慮した農法の実施により、今後も飼料による気候変動の影響を軽減していく予定です。同様に、畜舎から頻繁に糞尿を排出し、バイオガスの普及、バイオフィルターや燃焼などの技術テストにより、糞尿の取扱や保管による気候への影響も大幅に減少すると思われます。

## スライド25

2030年に向けての予測の前提は以下の通りです

- 豚の糞尿のバイオガス化率を2020年の20%に対し、2030年は60%する。
- 全ての屠畜豚用の畜舎で糞尿のバキューム排出を頻繁に行う（法的要求事項）
- 母豚および子豚両方の新たな畜舎で頻繁に糞尿のバキューム排出を行う。
- スクレーパーによる毎日の糞尿処理に加え、妊娠中の母豚のための半数の畜舎で糞尿を冷却する。
- グリーン電力で生産された気候にやさしい肥料を使用する。
- 豚の糞尿の100%（すべて）に硝化抑制剤を使用する。
- 気候に配慮したエネルギーを利用する。  
（2020年比で1 kWhあたりの気候変動への影響を1/3に削減）

## スライド26

そのうえで、デンマークの養豚部門の戦略目標は以下の通りです。

- 豚肉1 kgあたりの気候変動への影響を2030年には2005年比で少なくとも50%削減。
- 飼料効率の継続的な向上。
- 糞尿貯蔵によるメタンガス発生を低減する新技術の開発と試験
- スクレーパーで毎日糞尿を排出/頻繁に糞尿を排出し、バイオガス化のために新鮮な糞尿を供給することで、養豚場におけるメタンガスの発生の大幅削減

2050年までにデンマークの養豚産業はカーボンニュートラルな農業分野の一つになることを目標にしています。

## スライド27

デンマークでは、農場から食卓まで、豚肉生産すべてをカバーする様々な品質システムを導入しています。一次生産、つまり農場での生産は DANISH Product Standard でカバーされています。豚の輸送は DANISH Transport Standard で、と畜場は Global Red Meat Standard でカバーされています。持続可能な豚の生産は気候への影響だけではありませんので、DANISH Product Standard とは何かを簡単に説明します。気候への影響や温室効果ガス排出については各企業が取り扱うため、これらの基準には含まれていません。

## スライド28

DANISH Product Standard は2007年より、年間約2,800件の審査が行われています。目的はデンマークのすべての養豚場がデンマークの法律と業界の協定を遵守していることを保証し、文書化することです。主に動物福祉、食品の安全、トレーサビリティに焦点を当てた基準で、第三者機関の認証を取得しています。

## スライド29

DANISH Product Standard にはトレーサビリティ、飼料、動物の健康と医薬品の使用、動物福祉、畜舎と設備、豚の管理と配送のすべての側面をカバーする約160のチェックポイントがあります。

## スライド30

二酸化炭素の排出量だけではなく、高いレベルの動物福祉、抗生物質の少ない慎重な使用もまた、持続可能な豚の生産の一部です。

この図は欧州医薬品局のもので、欧州31か国の家畜用抗生物質の販売状況を示しています。今日の講演のテーマではありませんが、養豚産業が盛んな国の中で、デンマークが最も抗生物質の使用量が少ない国であるということだけは申し上げておきたいと思います。

### スライド31

抗生物質の使用量が少ないということ、それは、デンマークの豚はとても健康的で、バイオセキュリティの基準が非常に高いことを示しています。これにより疾病率も低く、とりわけ動物福祉のレベルの高さにも繋がっていて、デンマークではアフリカ豚熱を筆頭に厄介な豚の病気の発生がないことをお伝えしたいと思います。

### スライド32

ご清聴ありがとうございました。