

# ヒトの幹細胞から作成される生殖細胞を用いる ヒト胚の作成の検討 (論点1～4)

第152回資料3 (論点1、3、4)、第153回資料3 (論点2の再整理案)に  
議論内容を反映

2025年2月28日

生命倫理専門調査会 事務局

# 「基本的考え方」のヒト受精卵等の尊重の趣旨に基づく ヒト胚と同じものと考えられるのか（論点1）（1）

## 【現在の研究状況】

- 動物（マウス）では、ES/iPS細胞から始原生殖細胞様細胞 (PGCLCs) を誘導し、体内移植やin vitro（体外培養系条件下）においてPGCLCsから卵子及び精子の誘導の後、受精させて個体にまで発生する研究が行われている。
- このような方法で作成された、卵子や精子は、質的なばらつきが大きく、発生率が低い傾向等などの課題はあるが、数世代にわたり仔の産生が可能であることから、自然の生殖細胞と機能的には同等のものが作成可能と考えられる。
- 一方で、ヒト幹細胞については、マウスと同じような培養条件で高効率にPGCLCsの分化を誘導できるが、卵子及び精子を分化させた成功例はない。

## 【現在の研究状況におけるヒト生殖細胞の作成の可能性】

- ヒトにおいては、体内移植による生殖細胞の作成方法を用いることはできないことから、in vitro条件下による生殖細胞の産生の研究が行われており、PGCLCsの誘導から精子の手前の「前精原細胞」及び卵子の手前の「卵原細胞」の分化までが可能となっている。
- これまでのところ、生殖細胞の作成は報告されていないが、ヒトと動物間で原理的違いがあるとは考え難いことから、in vitroの条件設定を調整する研究を推進することにより将来的に動物と同様に、卵子・精子の誘導が可能となる蓋然性は高いと考えられる。

# 「基本的考え方」のヒト受精胚等の尊重の趣旨に基づく ヒト胚と同じものと考えられるのか（論点1）（2）

## 【生命倫理専門調査会の整理（案）】

- 現在、胎内への移植が不要であるin vitro条件下において、動物の幹細胞から生殖細胞を産生し、さらに受精させて個体産生がなされている。このため動物の幹細胞から作成する生殖細胞及びそれらを受精させた胚は、自然の生殖細胞や受精胚と機能的に同等と考えられるのではないかと。
- 現在のところ、ヒト幹細胞からヒト生殖細胞が産生された事例はないが、「ヒト胚の取扱いに関する基本的考え方」におけるクローン胚と同様の考え方（クローン動物（羊）が産生されていることからヒトクローンが産生される蓋然性が高い判断したこと）を想起すると、ヒトにおいても、技術進展により自然と機能的に同じ生殖細胞が作成され、それらを受精させたヒト胚から個体産生が可能となる蓋然性は高いと判断されるのではないかと。
- したがって、ヒト幹細胞からヒト生殖細胞が作成され、それを用いてヒト受精胚（以下「検討対象の胚」という。）を作成することを想定する場合、検討対象の胚は「母胎にあれば胎児となり、「人」として誕生し得る存在」となると考えられることから「ヒト胚の取扱いに関する基本的考え方」に従った取り扱いを行うことが妥当ではないかと。
- このため、ヒト胚と同様に原則は受精させることは不可とし、科学的合理性、社会的妥当性のある研究のみについて受精を認めるべきである。また、ヒト胚と同様に、受精後の培養期間を14日までとすること、ヒトや動物胎内への移植は禁止とする必要がある。

# クローン技術規制法の目的などから特定胚と同様の特別な対象と考えるべきか？（論点2）

## クローン技術規制法との関係について（論点2）の再整理（案）

12月16日の第152回調査会において、ヒトに関するクローン技術等の規制に関する法律（平成12年法律第146号。以下「クローン技術規制法」という。）との関係（論点2）について再度整理が必要とのご意見をいただいた。

このため、論点2について以下の①から⑤について整理を行った。

- ① 「検討対象の胚」は、クローン技術規制法の特定胚と同じものであるか否か検討する
- ② クローン技術規制法の目的の確認
- ③ 特定胚（クローン胚）と「検討対象の胚」を比較して、クローン胚と同様の懸念が生じ得るか否か検討する
- ④ 上記、①、③が否定された場合、クローン技術規制法のような法的な規制が必要か否か検討する
- ⑤ 上記、④が否定された場合、その他の対応が必要か否か検討する

# クローン技術規制法の目的などから特定胚と同様の特別な対象と考えるべきか？（論点2）

## ①「検討対象の胚」は、クローン技術規制法の特定胚と同じものであるか

### 【整理（案）】

「検討対象の胚」は、ヒト幹細胞から作成した生殖細胞（精子・卵細胞）同士を（若しくは、それと天然の精子又は卵細胞とを）受精させることにより生じるものである。

クローン技術規制法の9種類の特定胚は、以下の表のとおりであり、動物を用いない胚は、1、5、6、7（赤字）であるが、1、6は、核を除核卵にいれて作成していること、5は、ヒト胚を分割したもの、7はヒト胚とヒト胚等（等は体細胞）を集合させてたものであり、ヒト幹細胞から生殖細胞を作り、それを受精させる「検討対象の胚」と同じ胚はないことから、**クローン技術規制法の特定胚と直接的に同じものはない**、と整理できるのではないか。

名称	概要	性質
1. 人クローン胚	ヒトの体細胞の核をヒト <b>除核卵にいれてできる胚</b>	無性生殖になる
2. ヒト動物交雑胚	ヒトの精子と動物の卵子(又はその逆の組み合わせ)の間で作られる胚	人間の亜種になる胚
3. ヒト性集合胚	ヒト胚と動物の胚等が集合して一体となった胚	
4. ヒト性融合胚	ヒトの体細胞の核を動物の除核卵に入れてできる胚	
5. ヒト胚分割胚	ヒト胚を発生初期に <b>分割した胚</b>	
6. ヒト胚核移植胚	発生初期のヒト胚の核をヒト <b>除核卵にいれてできる胚</b>	有性生殖により、一卵性多児の人工的産生が可能
7. ヒト集合胚	ヒト胚とヒト胚等が <b>集合して一体となった胚</b>	
8. 動物性融合胚	動物の体細胞の核をヒトの除核卵にいれてできる胚	一部にヒトの要素を持つ動物胚
9. 動物性集合胚	動物胚とヒト体細胞等が集合して一体となった胚	

# クローン技術規制法の目的などから特定胚と同様の特別な対象と考えるべきか？（論点2）

## ②クローン技術規制法の目的の確認

### 【整理（案）】

クローン技術規制法の目的（第一条）を種類ごとに整理すると以下のように①立法の動機、②目的達成の手段、③直接目的、④究極目的、となっている。

第一条の趣旨を読み解くと、「①立法の動機」があることにかんがみ、「③直接目的」を達成するため、「②手段」を講じ、最終的には「④究極的な目的」を達成する、という流れになるので、「検討対象の胚」との関係性について検討する場合、「①立法の動機」を主に注目すべきではないか。

種類	記載内容（一部を抜粋）
①立法の動機	「クローン技術等」が、 <u>「人クローン個体」若しくは「交雑個体」を作り出し、これにより人の尊厳の保持、人の生命及び身体の安全の確保並びに社会秩序の維持（以下「人の尊厳の保持等」という。）に重大な影響を与える可能性があることにかんがみ</u>
②-1 目的達成の手段（1）	<u>クローン技術又は特定融合・集合技術により作成される胚を人又は動物の胎内に移植することを禁止する</u>
②-2 目的達成の手段（2）	<u>クローン技術等による胚の作成、譲受及び輸入を規制し、その他当該胚の適正な取扱いを確保するための措置を講ずる</u> ことにより
③直接目的	<u>人クローン個体及び交雑個体の生成の防止並びにこれらに類する個体の人為による生成の規制を図り</u>
④究極的な目的	<u>もって社会及び国民生活と調和のとれた科学技術の発展を期する</u>

### 「（目的）第一条

この法律は、ヒト又は動物の胚又は生殖細胞を操作する技術のうちクローン技術ほか一定の技術（以下「クローン技術等」という。）が、その用いられ方のいかんによっては特定の人と同一の遺伝子構造を有する人（以下「人クローン個体」という。）若しくは人と動物のいずれであるかが明らかでない個体（以下「交雑個体」という。）を作り出し、又はこれらに類する個体の人為による生成をもたらすおそれがあり、これにより人の尊厳の保持、人の生命及び身体の安全の確保並びに社会秩序の維持（以下「人の尊厳の保持等」という。）に重大な影響を与える可能性があることにかんがみ、クローン技術等のうちクローン技術又は特定融合・集合技術により作成される胚を人又は動物の胎内に移植することを禁止するとともに、クローン技術等による胚の作成、譲受及び輸入を規制し、その他当該胚の適正な取扱いを確保するための措置を講ずることにより、人クローン個体及び交雑個体の生成の防止並びにこれらに類する個体の人為による生成の規制を図り、もって社会及び国民生活と調和のとれた科学技術の発展を期することを目的とする。」



# クローン技術規制法の目的などから特定胚と同様の特別な対象と考えるべきか？(論点2)

## ③「検討対象の胚」は、クローン技術規制法の目的(立法の動機)に照らして同様な(1)

【クローン技術規制法の立法の動機に対比させた検討対象の胚について】

「検討対象の胚」が母胎にあって子が誕生したと仮定した場合、クローン技術規制法の「立法の動機」である「クローン技術等」が、「人クローン個体」を作り出し、これにより人の尊厳の保持、人の生命及び身体の安全の確保並びに社会秩序の維持に重大な影響を与える可能性があることにかんがみについて、①技術的要素、②倫理的問題、③安全上の問題、④社会的問題に分類して、「特定胚(クローン胚)」と「検討対象の胚」について比較して整理した。

項目	特定胚(クローン胚)	検討対象の胚	
		同一人由来の幹細胞から精子、卵細胞をそれぞれ作成して受精させる場合	精子と卵細胞が異なる人由来の幹細胞から作成される場合及び幹細胞由来生殖細胞と自然の生殖細胞を受精させる場合
①技術的要素	クローン技術等による「人クローン(同じ遺伝子構造を持つ)個体」の産生	生殖細胞作成技術による「特定人のゲノムの一部だけを持つ個体」の産生	生殖細胞作成技術を含む「個体」の産生
②倫理的問題	人の尊厳の保持に重大な影響	人クローンではないが同一人の遺伝子による生殖となる	自然の生殖による個体と同様に2人の遺伝子からなる
③安全上の問題	人の生命及び身体の安全の確保に重大な問題	生殖細胞作成技術の安全性は確認されていない(動物においても発生率は非常に低い)。自家受精による遺伝上(潜性遺伝子)の問題も想定される。	生殖細胞作成技術の安全性は確認されていない(動物においても発生率は非常に低い)。
④社会的問題	社会秩序の維持に重大な影響	人クローンではないが同一人の遺伝子による生殖となる	2人の遺伝子からなることは自然の生殖による個体と変わらない

※：男性から卵細胞、女性から精子を作成される場合を含む。マウスでは、Y染色体を喪失した雄の体細胞の染色体を倍加し、その細胞からiPS細胞

を作成して、卵細胞を作成し他のマウスの精子を用いていて受精し個体発生がなされた研究がある。

# クローン技術規制法の目的などから特定胚と同様の特別な対象と考えるべきか？(論点2)

## ③「検討対象の胚」は、クローン技術規制法の目的(立法の動機)に照らして同様な(2)

### 【整理(案)】

精子と卵細胞が異なる人由来の幹細胞から作成される場合及び幹細胞由来生殖細胞と自然の生殖細胞を受精させる場合には、自然の生殖と同様に2人の遺伝子から生じるのでクローン技術規制法の目的(立法の動機)と異なると考えられるのではないか。

一方で、同一人の幹細胞から精子と卵細胞を作成し受精させる場合(若しくは異なる性の生殖細胞を作成し受精させる場合)は、生殖細胞ができる際に減数分裂が起こることからクローン個体(特定の人と同一の遺伝子構造を有する人)が生じることは考え難い(参考資料参照)が、自家受精による生殖で特定人のゲノムの一部だけを持つ個体となるなどの問題が考えられるのではないか。

しかし、現在、研究されている動物の雄から卵子をつくる技術は、幹細胞の基となる雄の体細胞からY染色体が自然に脱落するのを待ち、残った一つのX染色体を薬剤により倍加させるという特殊なものであり、雌から精子を作る方法はない。また、動物においても同じ幹細胞から作成した精子と卵細胞を受精させた胚から個体は産生できていないこと、ES/iPS細胞の特性がヒトとマウスでは大きく異なり、現在のところ生殖細胞は特定の動物(げっ歯類)でしか作成できていないことを考え合わせると、同じヒト幹細胞から精子と卵細胞の両方を作成し、それらを受精させて個体産生することについて、現段階で具体的に検討する段階にはないと考えられるのではないか。

以上から、現段階では、「検討対象の胚」は、クローン技術規制法の目的(立法の動機)と同じと考える必要はないのではないか。

なお、今後も研究の進展を注視し、必要に応じて見直しの検討を行う必要があるのではないか。



# クローン技術規制法の目的などから特定胚と同様の特別な対象と考えるべきか？(論点2)

## ④クローン技術規制法のような法的な規制が必要か否かの検討(1)

### 【検討対象の胚の研究の状況や国際状況】

クローン技術規制法の立法経緯においては、93年のクローン羊の産生以降、ヒトクローン胚を作成しヒトや動物に移植することは技術的に可能であることから海外の一部の研究者がクローン人間計画を発表するなどの事件があり、クローン技術の利用への懸念が国際的な問題となっていた。

一方で、ヒト幹細胞由来生殖細胞では、現段階では生殖細胞は作成されておらず、ヒトや動物への不適切な移植は不可能であり、ヒトへの臨床利用の発表などはないことから、クローン動物が作成された当時と同様の状況ではない。

### 【整理(案)】

上記のように、クローン技術規制法の立法時には、ヒトクローン胚を作成しヒトや動物に移植することは技術的に可能であることからクローン人間計画などが発表されたが、ヒト幹細胞由来生殖細胞は現在のところ作成されておらず、ヒトや動物への不適切な移植がされる懸念される状況にはないことを踏まえると、現段階で、クローン技術規制法と同様の立法目的を有する「検討対象の胚」について法的規制を行う必要性は少ないのではないかと。

なお、法的規制はないにしても、既にある倫理指針においては管理されることになる(⑤その他の対応が必要か否かの検討において記載)。

今後もヒト幹細胞由来生殖細胞については、技術的進展を注視し、国際的な状況や国内の生殖補助医療の状況等を踏まえて必要な対応を行うべきではないかと。

# クローン技術規制法の目的などから特定胚と同様の特別な対象と考えるべきか？(論点2)

## ⑤その他の対応が必要か否かの検討(1)

### 【倫理指針の研究要件・禁止事項】

- 「ヒトiPS細胞又はヒト組織幹細胞からの生殖細胞の作成を行う研究に関する指針」「ヒトES細胞の使用に関する指針」においては、生殖細胞作成研究の要件として、以下の規定があり、研究内容も倫理審査委員会で確認が行われている。

生殖細胞作成研究は、次に掲げる要件を満たす場合に限り、行うことができるものとする。

- 一 次のいずれかに資する基礎的研究を目的としていること。
  - イ ヒトの発生、分化及び再生機能の解明
  - ロ 新しい診断法、予防法若しくは治療法の開発又は医薬品等の開発
- 二 生殖細胞の作成を行うことが前号に定める研究において科学的合理性及び必要性を有すること。

- また、ヒトや動物胎内への移植は禁止されている。

### 【整理(案)】

「検討対象の胚」の作成を認める場合であっても、③の同一人の幹細胞を受精させた場合の倫理的な問題を鑑みると、現在の指針の研究要件、禁止事項については、引き続き堅持すべきではないか。

また、幹細胞由来生殖細胞は、遺伝子改変技術が用いられることが多いが、ゲノム編集技術等の遺伝子改変を行った、ヒト胚の臨床利用については、引き続き法的な枠組みを求める※ことが妥当ではないか。

※「ヒト胚の取扱いに関する基本的考え方」見直し等に係る報告(第二次)～ヒト受精胚へのゲノム編集技術等の利用等について～「研究用新規作成胚の作成を伴うゲノム編集技術等を用いる基礎的研究についても相応の科学的合理性・社会的妥当性が認められるのであれば、個別の研究計画について「基本的考え方」の例外になり得るかを適切に審議するための要件や、研究の透明性を確保する枠組みを提示することが適当である。また、今般、**臨床利用に対する法的措置も含めた制度的枠組みの検討を全体的整合の下で措置していくこととする**ことで、**根本的な対応ともなる**と考えられる。」

# 幹細胞から作成した生殖細胞の受精による研究は科学的合理性、社会的妥当性を満たしているか？（論点3）（1）

## 【科学的合理性】

### ア 生殖細胞の作成を行う技術的成熟度が一定程度確保されているか

- ・ ヒトの精子形成は、精原細胞になる手前の前精原細胞のところまではできている。卵子の場合は卵胞と言われる構造ができる手前の初期の卵母細胞までできている。（第131回斎藤参考人ヒアリング）
- ・ ヒトにおいて始原生殖細胞から卵子精子の作成はできていない。精巣や卵巣の環境を多能性幹細胞から作ることができれば、このステップはクリアできる。もう5年位でそういうステージまで技術的にはいくだろう。（第134回林参考人ヒアリング）

### イ 具体的研究目的や対象疾患の例示

- ・ 体外培養で生殖細胞の分化を再構築する＝生殖細胞をつくる
- ・ 生殖細胞の分化メカニズムの理解  
（大事な生殖細胞の分化過程は胎児期に多いが、胎児期の生殖細胞の数は少なく、ヒトではアクセスが難しいため、メカニズムを探る唯一の方法といえる。）  
（第134回林参考人ヒアリング）

### ウ 胚の作成の必要性

- ・ 生殖細胞の機能性の評価として受精が重要。実際に受精させるしか機能性を証明する方法はない。（第131回斎藤参考人ヒアリング）（第134回林参考人ヒアリング）

# 幹細胞から作成した生殖細胞の受精による研究は科学的合理性、社会的妥当性を満たしているか？（論点3）（2）

## 【社会的妥当性】

### ア 疾患の病態解明や治療法開発への期待

- 生殖補助医療研究目的での作成・利用
- 先天性の難病に関する研究目的での作成・利用
- ヒトES細胞の樹立のための作成・利用

ヒト受精胚からのヒトES細胞の樹立については、ヒトES細胞を用いた研究の成果として期待される再生医療等の実現等の恩恵への期待に、十分科学的に合理性があるとともに、社会的妥当性もある

- その他の研究

将来的に新たな研究目的が生じた際には、基本原則にのっとり、その容認の可否を検討すべきである。

### イ 海外の研究状況

- ISSCRガイドラインの状況（第133回松原参考人ヒアリング）
- 遺伝子改変された多能性幹細胞を含むヒト細胞から配偶子を作成する研究（受精や胚形成は含まない）は、専門的な科学的・倫理的監視プロセスに報告可能だが通常審査のみでも可【カテゴリー1B】
- 前駆細胞からのヒト配偶子作成が、ヒトの接合子や胚を作成する受精を伴う研究（作成されたヒト胚は体外培養による研究またはES細胞株樹立にのみ使用）は専門的な科学的・倫理的監視プロセスの審査が必要【カテゴリー2】
- ヒト幹細胞から分化させた配偶子を、受精およびヒトの生殖を目的に使用することは当面禁止【カテゴリー3A】（安全性や倫理的な問題が解決されるまでは、実施できない）

# 幹細胞から作成した生殖細胞の受精による研究は科学的合理性、社会的妥当性を満たしているか？（論点3）（3）

## 【社会的妥当性】

### ウ 国民的議論

- 社会のルールを決める集団として、科学者だけではなく、多職種、いろいろな立場の人、意見を異にする人、性別の比率、年齢、民族などの違いを考慮する。
- 一般の人と科学者の感覚の差異の大きさをいかに科学者が理解するかが重要。  
(第135回柘植参考人ヒアリング)
- 先端的技術・医療が変える文化的なことがらについて、それが変わることで生きづらくなるかもしれないということについて、もっと話される必要があるのではないか。  
(第135回柘植参考人)

### エ 臨床利用に繋がるリスク

- ヒト多能性幹細胞のIVGによる配偶子を用いた生殖は「当面」禁止といえども、実現のハードルは高い。また、安全面だけでなく倫理面でも課題がある。  
(第133回松原参考人ヒアリング)

# 幹細胞から作成した生殖細胞の受精による研究は科学的合理性、社会的妥当性を満たしているか？（論点3）（4）

## 【生命倫理専門調査会の整理（案）】

- 以下の理由により、科学的合理性があると言えるのではないか。
  - ・ ヒトの精子は、精原細胞になる手前の前精原細胞まで、卵子は初期の卵母細胞までできており、研究者によると精巣や卵巣の環境を多能性幹細胞から作ることができれば、5年程度でクリアできる見込みであること。
  - ・ 体外培養で生殖細胞の分化を再構築や、生殖細胞の分化メカニズムの理解については、ヒトではアクセスが難しいため、メカニズムを探る唯一の方法といえること。
  - ・ 生殖細胞の機能性の評価として受精が重要。実際に受精させるしか機能性を証明する方法はないこと。
- また、以下の理由により、社会的妥当性があると言えるのではないか。
  - ・ 不妊原因や治療法の開発や「治す」という目的は、何にも増して大事なことであり、治せない疾患は多いが、治らない患者へ思いを馳せるといふ疾患の病態解明や治療法開発への期待があること。
  - ・ ISSCRガイドラインでは、ヒト幹細胞から分化させた配偶子を、受精させて生殖の目的で使用することは当面禁止とされているが、invitro下で遺伝子改変された多能性幹細胞を含むヒト細胞から配偶子を作成し、それを用いてヒト受精卵やヒト胚を作成するinvitro研究は認められていること。
- 留意点として、国民的議論が必要であり、また、臨床利用に繋がるリスクを考慮する必要があるのではないか。



# 幹細胞から作成した生殖細胞の受精を認めるか。 認められる研究範囲はどこか (論点4)(1)

## 【受精を認めるべきかについての考え方】

- 論点3のとおり、科学的合理性、社会的妥当性が認められることから、受精を認めて差し支えないのではないか。

## 【認められる研究の範囲の検討】

- 「幹細胞由来生殖細胞の受精の正常性を見る研究（第1目的）」、「幹細胞由来生殖細胞より得られた胚細胞を用いた研究（第2目的）」のどちらまで許容するかについては、「検討対象の胚」を用いた研究により、**遺伝性疾患等の疾患機序や不妊症の発症メカニズムの解明などに貢献する可能性があり、このような研究は連続していることから、第1目的が達成される前でも、第2目的の研究を実施できるものもあり得る。**
- また、自然なヒト受精胚と100%同じものができることをめざさない限り、第1目的が達成できたと線引きすることは難しく、第1目的と第2目的に分けて考えることは、複雑にするだけではないかと考えられる。
- 「ヒト受精胚を作成して行う研究に関する倫理指針」においては、生殖補助医療研究（遺伝情報改変技術等を用いるものを含む）、遺伝情報改変技術等を用いる**遺伝性・先天性疾患研究**、卵子間核置換技術を用いる**ミトコンドリア病研究**を行う際に**受精を認めていることから、整合性についても考慮する必要**があるのではないか。

# 幹細胞から作成した生殖細胞の受精を認めるか。 認められる研究範囲はどこか（論点4）（2）

## 【生命倫理専門調査会の整理（案）】

- 幹細胞から作成した生殖細胞を受精させることについては、科学的合理性、社会的妥当性が認められることから、認めて差し支えないのではないかと。
- 研究目的としては、遺伝性疾患等の疾患機序や不妊症の発症メカニズムの解明などに貢献する可能性があり、このような研究は連続していることから、「幹細胞由来生殖細胞の受精の正常性を見る研究（第1目的）」のみならず「幹細胞由来生殖細胞より得られた胚細胞を用いた研究（第2目的）」まで許容することにして差し支えないのではないかと。また、関連する指針も第2目的まで同一のもので管理することがのぞましい。
- ヒト幹細胞由来生殖細胞より得られた生殖細胞を用いた「検討対象の胚」は、従前のヒト胚と同様の機能を有すると考えられることから、認められる研究の内容については、「幹細胞由来生殖細胞の受精の正常性を見る研究（第1目的）」に加えて「ヒト受精胚を作成して行う研究に関する倫理指針」と同じ生殖補助医療研究（遺伝情報改変技術等を用いるものを含む）、遺伝情報改変技術等を用いる遺伝性・先天性疾患研究、卵子間核置換技術を用いるミトコンドリア病研究を行うことに限って受精を認めることが妥当ではないかと。
- また、今後とも研究状況・進展を注視し、必要に応じて適宜「検討対象の胚」に関する見直しなどを行っていくことが必要である。

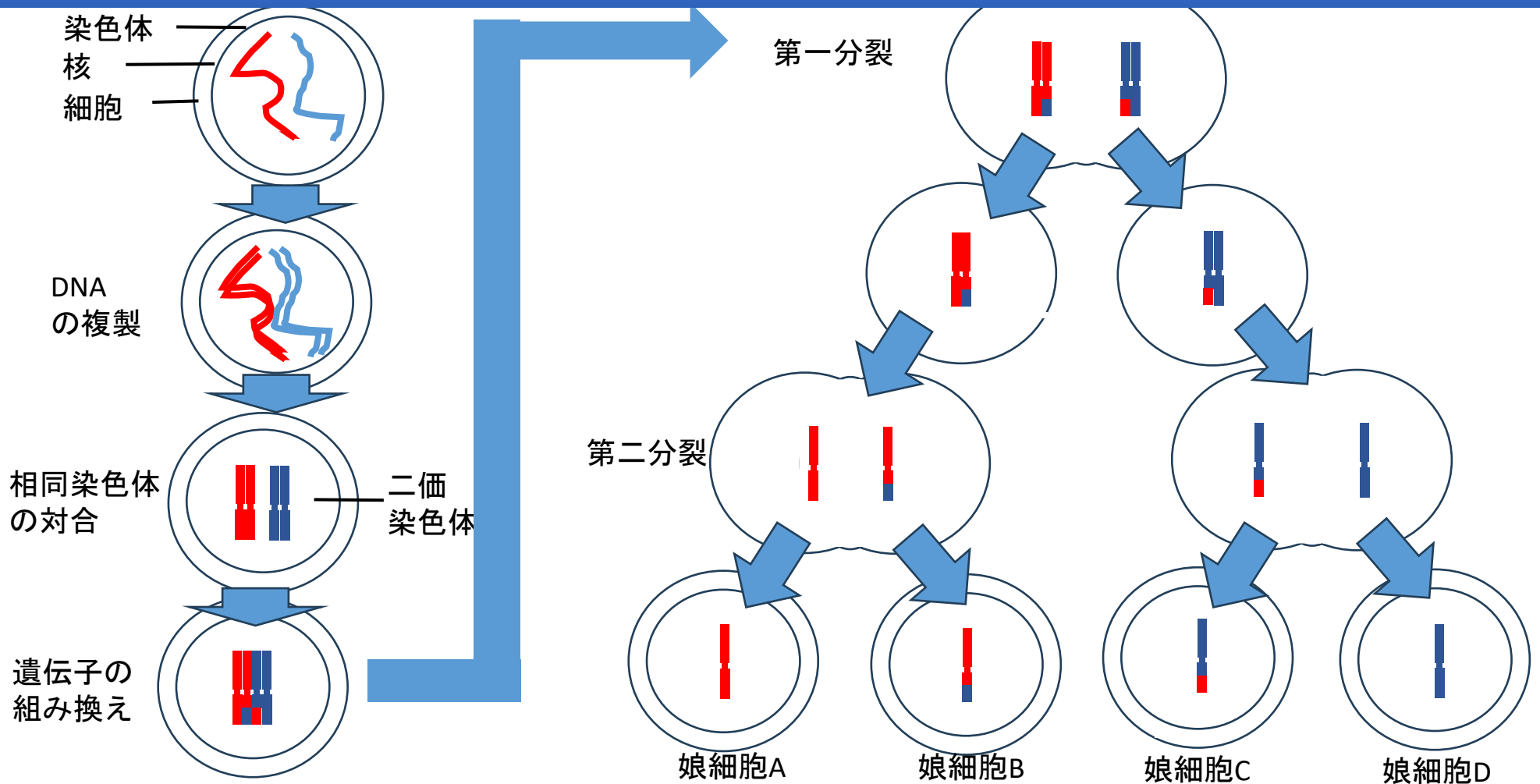
(参考) DNA・遺伝子・ゲノム  
減数分裂は配偶子が作成されるときに起こる

DNA + 遺伝子 → 染色体 → ゲノム (染色体46本)



減数分裂には第一分裂と第二分裂があり、  
第二分裂において、染色体が分けられ、半数の染色体の細胞 (娘細胞)  
が4個できる。

## (参考) 減数分裂による遺伝子の組み換え



※ 上図は1つの染色体について1か所の乗換えが起こる場合を模式的に示しているが、23対のすべての染色体においてこのようなことが起こり得る。また、組換え箇所の違いがある場合や1染色体で複数箇所の乗換えが起こる場合もあり得る

# (参考) クローン胚と「検討対象の胚」のゲノムの違い

