NEWS LETTER
令和3(2021)年度学術変革領域研究(A)
2.5D Materials
2.5次元物質科学：
社会変革に向けた物質科学のパラダイムシフト

2.5次元研究室へようこそ

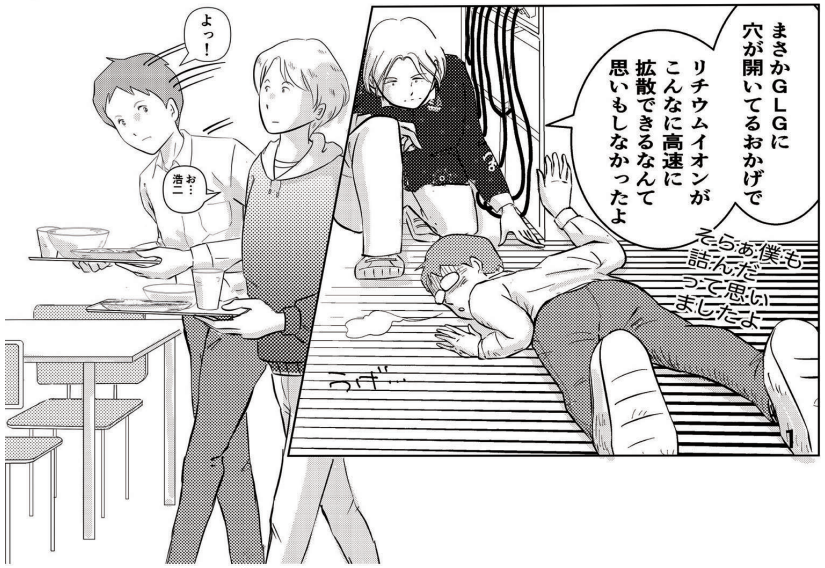
© もんでんひでこ



前回までのあらすじ

戦隊ヒーローの変身シーンに絶大感化されて最先端新素材開発を研究しているという庵渡研究室に無理くり入り込んだ4年生太田浩二。

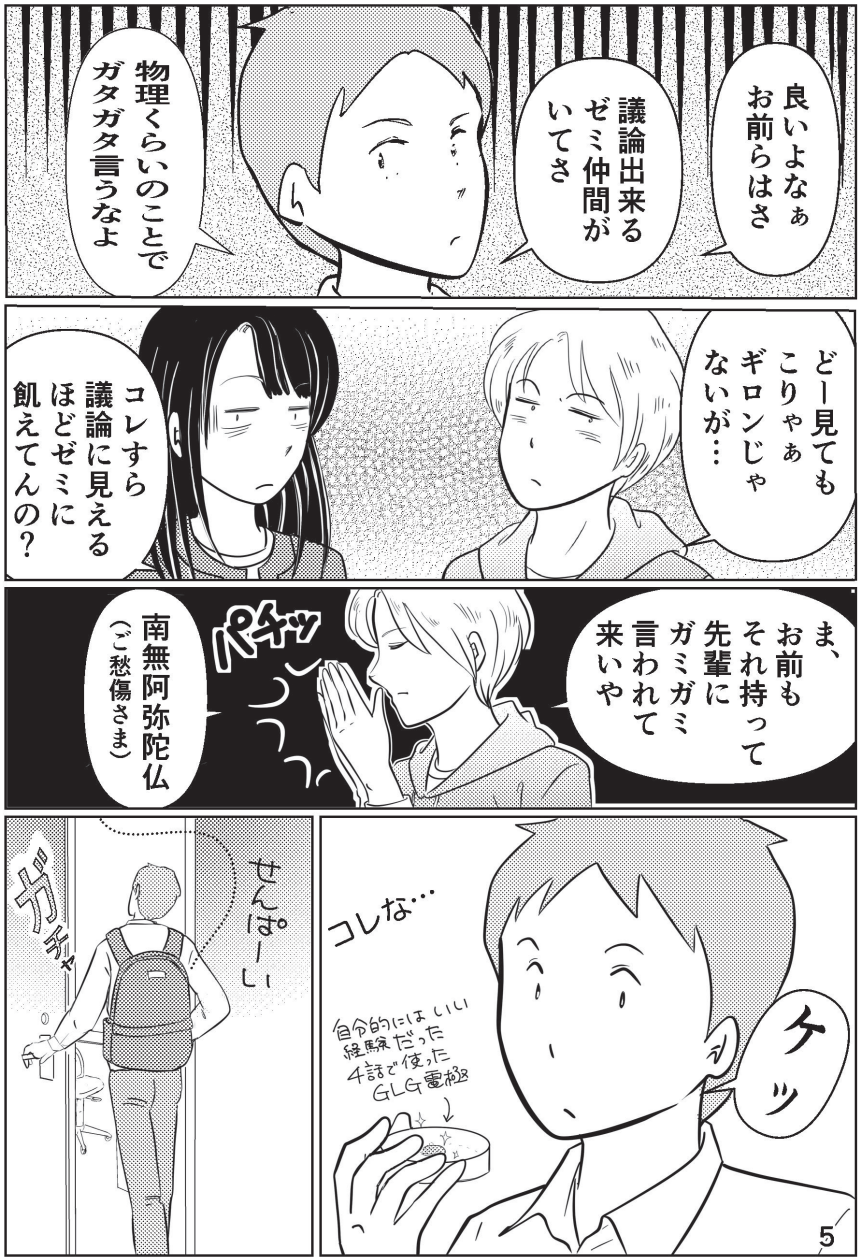
それなのに新素材開発とは一見無縁なリチウムイオンバッテリーの電極を研究している姫路研究室に行くよう指令が。渋々研究室訪問に行ったが、今度はグロボの洗礼を受け不器用な太田君は疲労困憊。ところが意外にも面白い発見ができて研究の醍醐味？に気づいて…

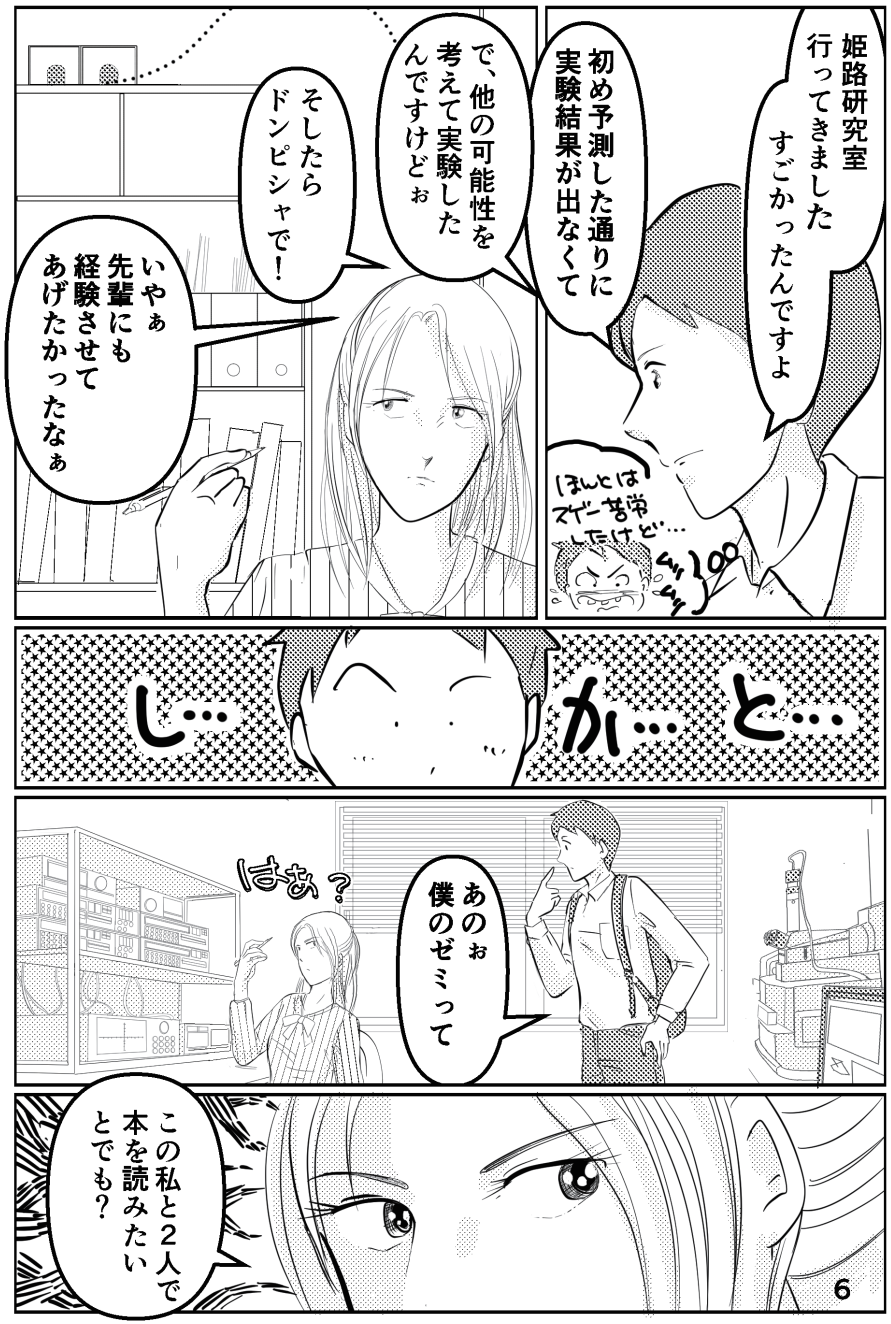


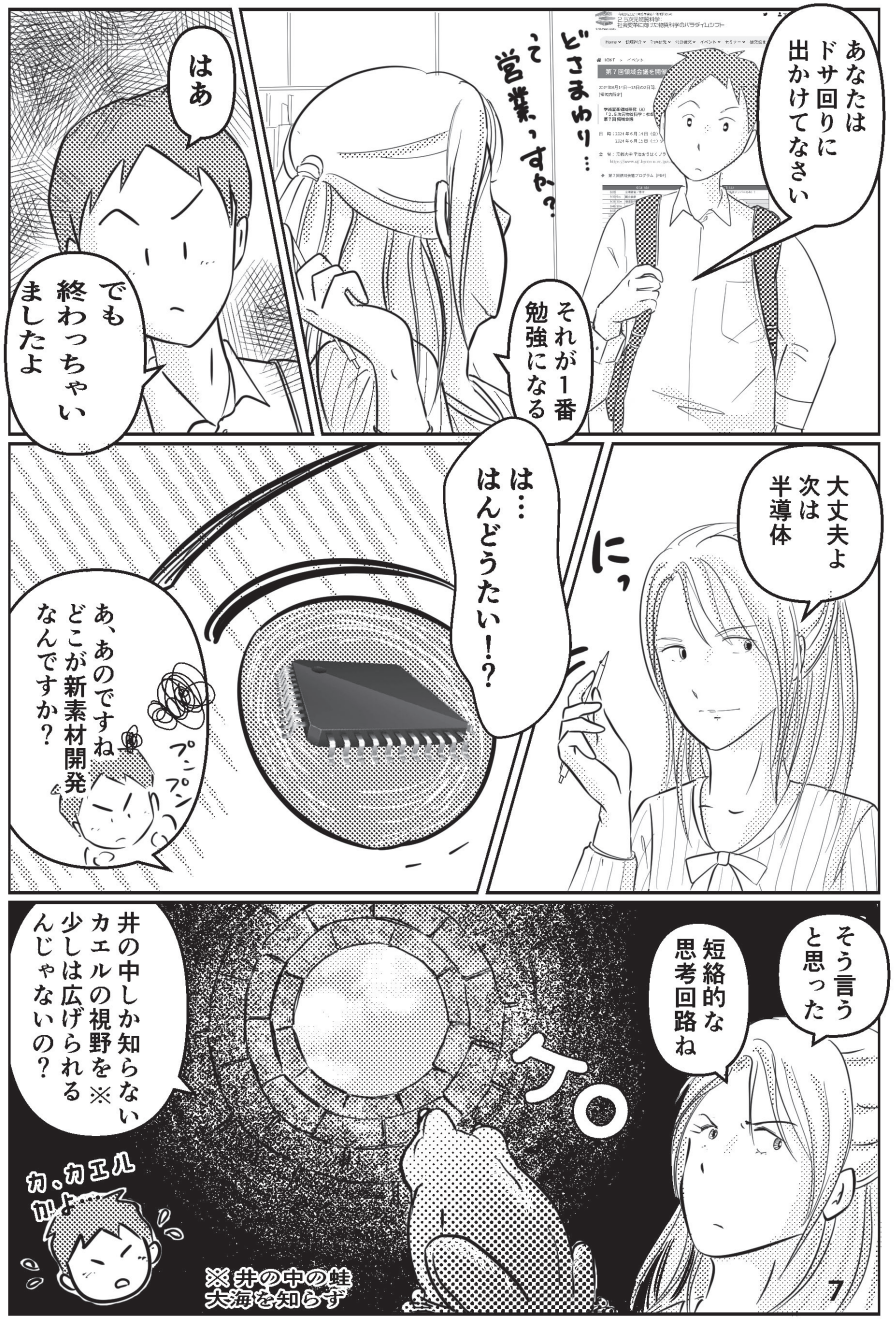
第6話　救世済民の半導体

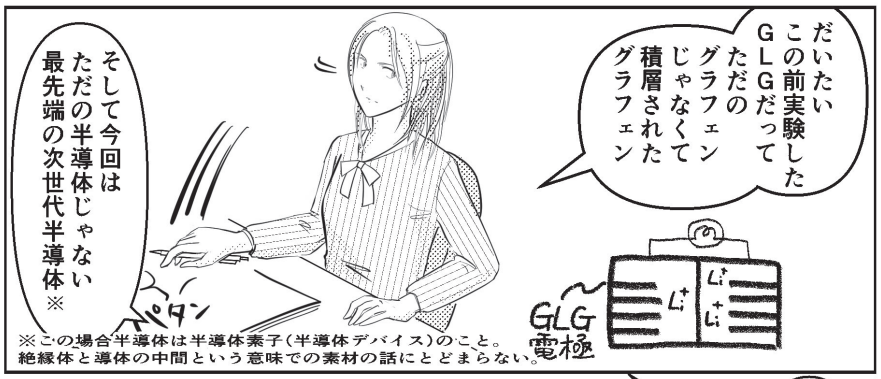



拓海ぃぃぃ

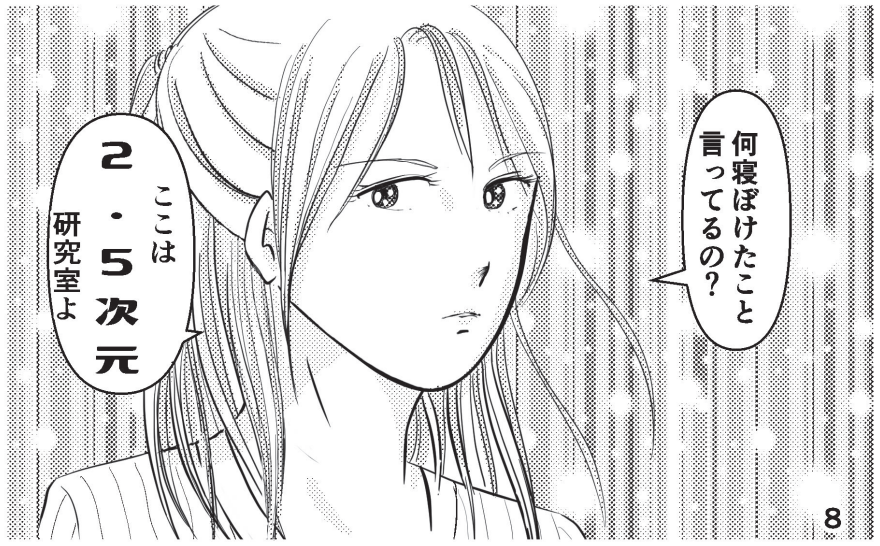

良いよなぁ
お前らはさ
議論出来る
ゼミ仲間が
いてさ
物理くらいのことで
ガタガタ言うなよ
どー見ても
こりゃぁ
ギロンじゃ
ないが…
コレすら
議論に見える
ほどゼミに
飢えてんの？
ま、
お前も
それ持って
先輩に
ガミガミ
言われて
来いや
パキッ
南無阿弥陀仏
（ご愁傷さま）
コレな…
ケツ
自分的にはいい
経験だった
4話で使った
GLG電極
ガチャ
せんぱーい
5

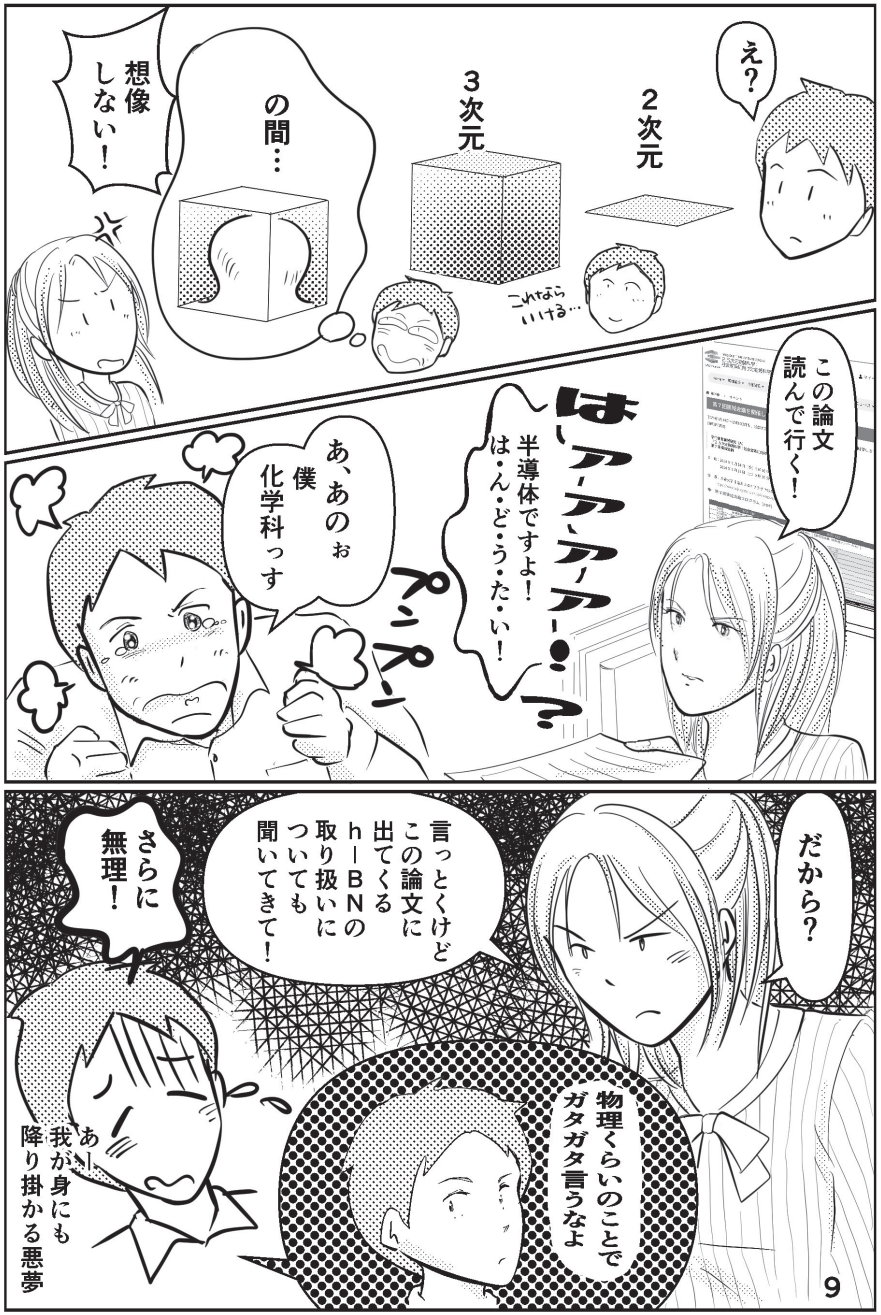

姫路研究室
行ってきました
すごかったんですよ
初め予測した通りに
実験結果が出なくて
ほんとはマイナー苦労したけど…
で、他の可能性を
考えて実験したい
んですけどぉ
そしたら
ドンピシャで！
いやぁ
先輩にも
経験させて
あげたかったなぁ
し…
か…
と…
はぁ？
あのぉ
僕のゼミって
この私と2人で
本を読みたい
とでも？
6


あなたは
ドサ回りに
出かけてなさい
ドサまわり…
て営業ってすか？
それが1番
勉強になる
はあ
でも
終わっちゃい
ましたよ
大丈夫よ
次は
半導体
に
は…
はんどうたい！？
プンプン
あ、あのですね
どこが新素材開発
なんですか？
そう言う
と思った
短絡的な
思考回路ね
井の中しか知らない
カエルの視野を※
少しは広げられる
んじゃないの？
ケロ。
カ、カエル
かよ…
※井の中の蛙
大海を知らず
7


だいたい
この前実験した
GLGだって
ただの
グラフェン
じゃなくて
積層された
グラフェン
GLG
電極
そして今回は
ただの半導体じゃない
最先端の次世代半導体※
ペタン
※この場合半導体は半導体素子（半導体デバイス）のこと。
絶縁体と導体の中間という意味での素材の話にとどまらない。


それにはまったく新しい
動作原理が使われている
どんな材料で
どう研究されているのか
勉強して来るようにって
しんそざい！
さいせんたん！
それ無理クリっ
ぽくないですか？
僕って
グラフェンの
研究するんじゃ
ないんですか？
CVDまでやったし
グラフェンに


何寝ぼけたこと
言ってるの？
ここは
2・5次元
研究室よ
8


え？
2次元
3次元
これなら
いける…
の間…
想像
しない！
この論文
読んで行く！
はーアーアーアー！？
半導体ですよ！
は・ん・ど・う・た・い！
アリアリ
あ、あのぉ
僕
化学科っす
だから？
物理くらいのことで
ガタガタ言うなよ
言っとくけど
この論文に
出てくる
hーBNの
取り扱いに
ついても
聞いてきて！
さらに
無理！
あ！我が身にも
降り掛かる悪夢
9


あーー
フツーの半導体だって
わかんないのに
トランジスタとか
次世代とか
マジ無理
パソコンとか…
ケータイとか…
まーでも
俺も半導体には
確かにお世話に
なってるしなぁ
12:45
パソコン
ケータイって
もっと他にも
あるでしょ
ってオイ!!
本郷大学
安田研究室
こんにちわ
駿河大太田です
今日、よろしく
お願いします
よく来たね
あのお
僕
半導体って
どシロートで…
10

僕らが研究しているのは
半導体といってもトランジスタと
呼ばれてて
センサーなんかになる
半導体素子

トランジスタ
ソース
ゲート
ドレン
シリコン

中身はこんな感じ
半導体として
シリコンが
使われている

IoT※社会が
もっと発達していくと
もぉっと
半導体が必要になる

あたたかい…
ホヤホヤ

そうすると
半導体だけでも
相当な電力を
消費することに
なるよね

見守り
おばあちゃん
起きたな
水や餌やり自動化
IoT
自動運転
五感の共有
うぉぉ
リアル
ロボット手術支援

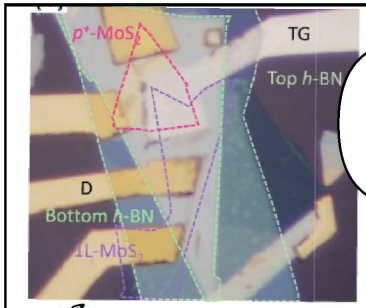
※モノとモノ、人とモノを
インターネットで結ぶ技術

僕らが目指しているのは
これまでとは
違った動作原理の
超省電力なトランジスタ
なんだ

それで使っている
素材は
二硫化モリブデン

あ、それなら
急に親近感が
湧いてきた

いおう
2コ
S×2
モリブデン
1コ
Mo×1



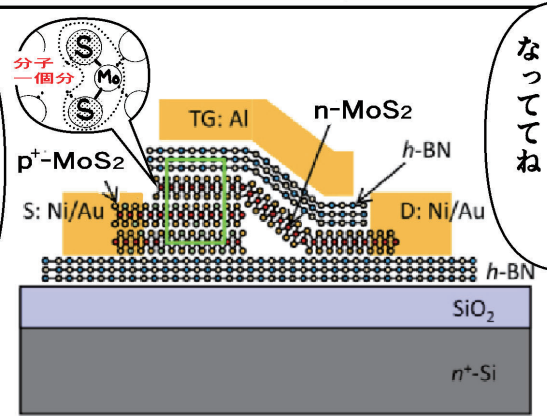
あ、また
親近感が
遠のいた

はへ？
また顕微鏡！？

これだよ

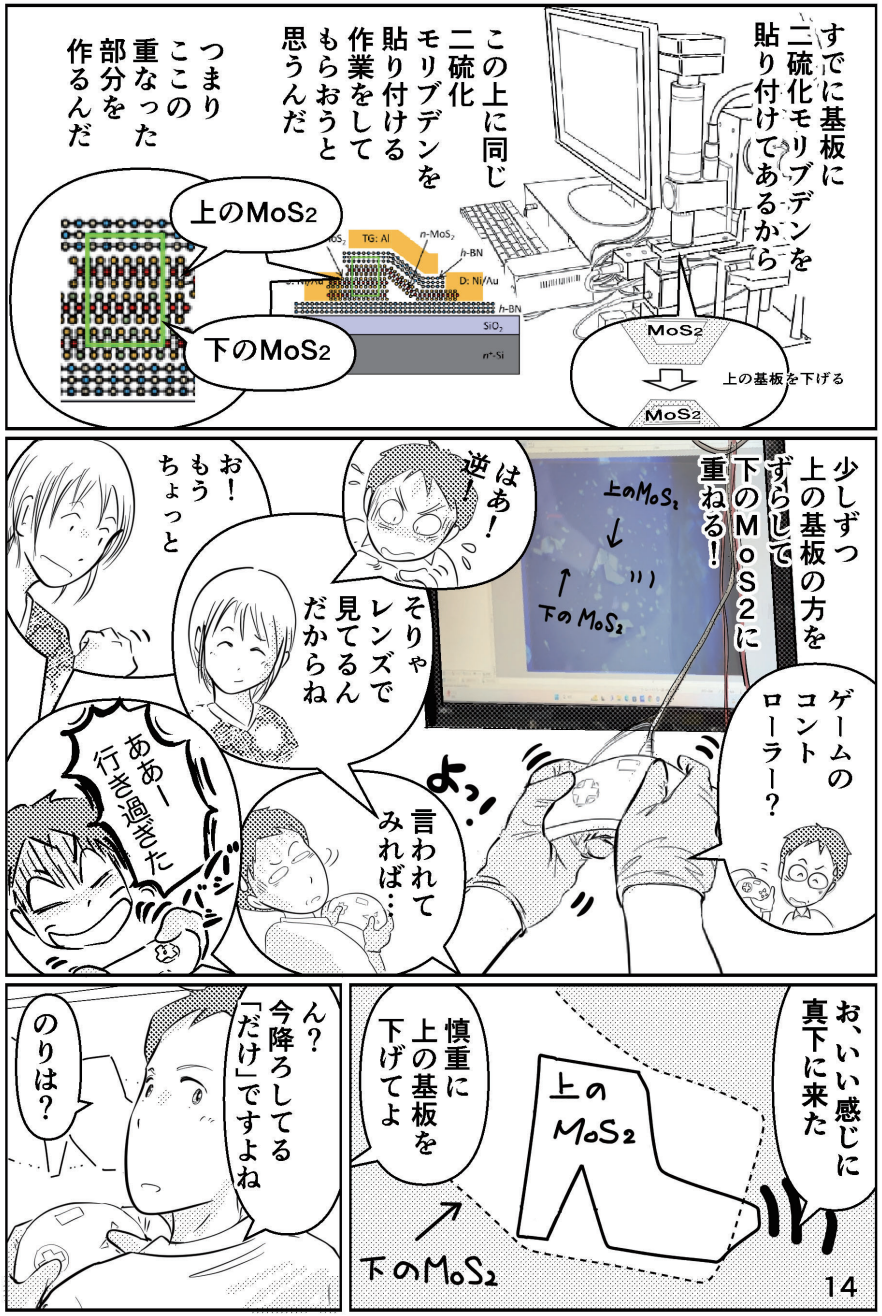
あっても
モニターで見られる！

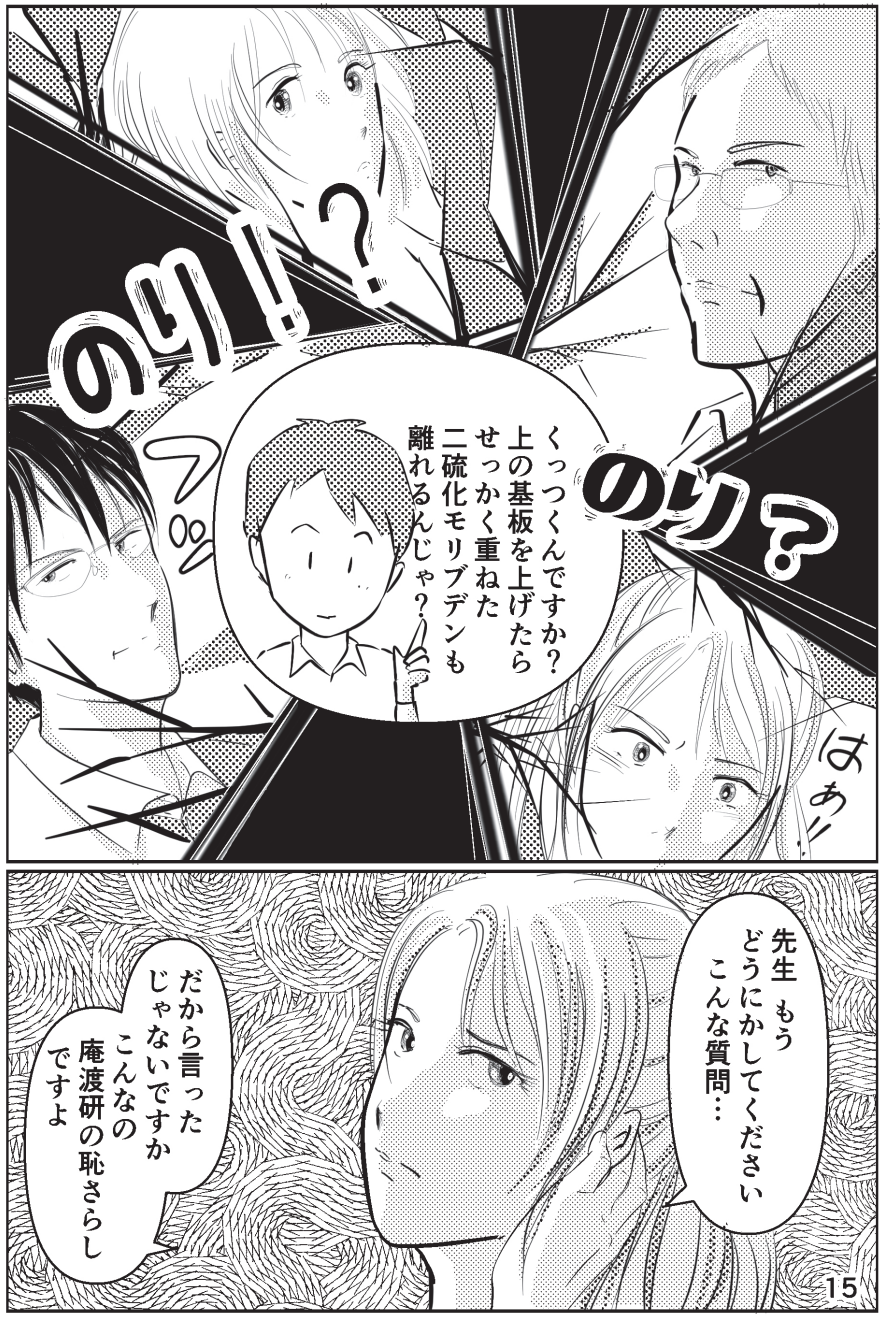
これって
こういう構造に
なっててね

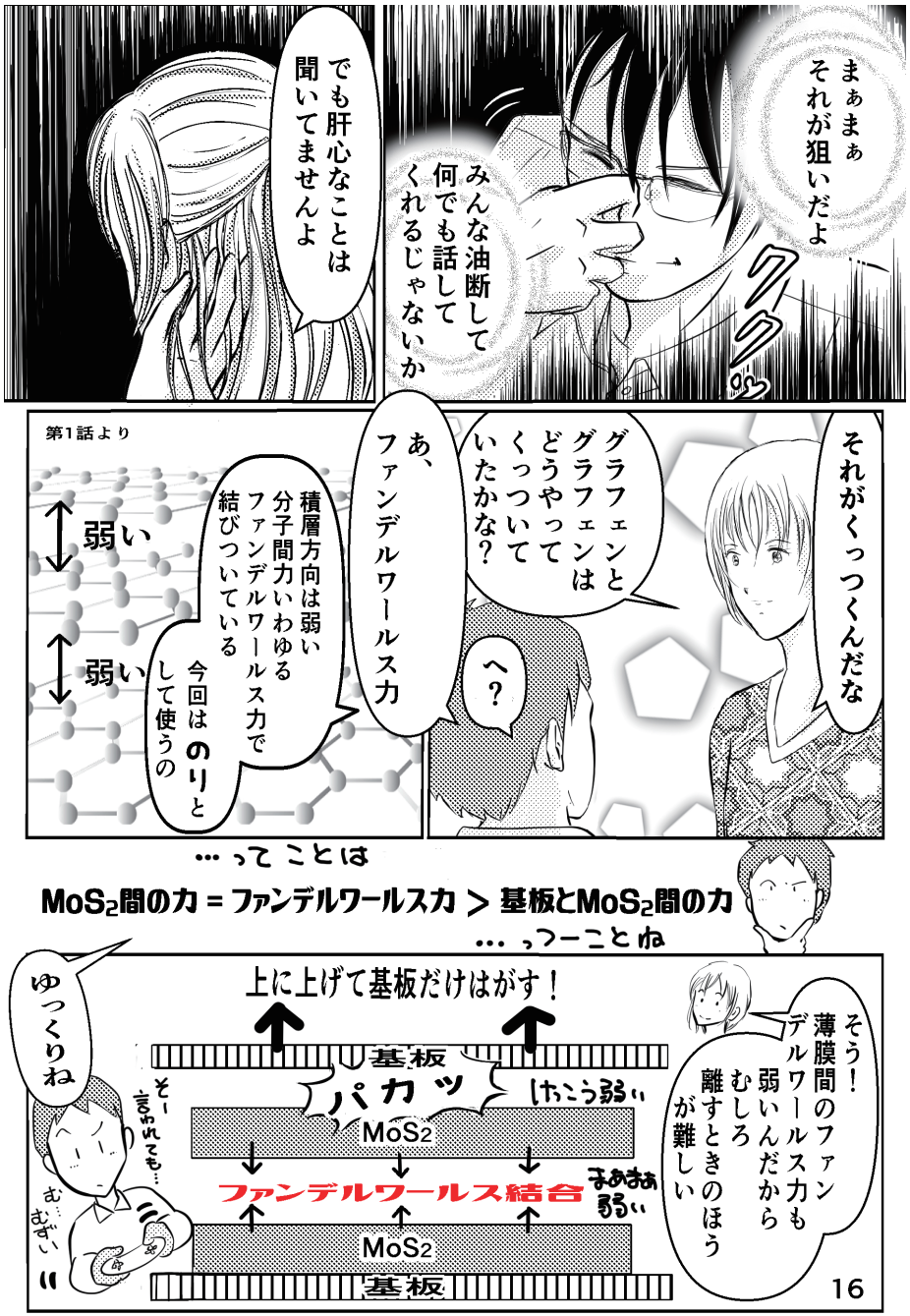


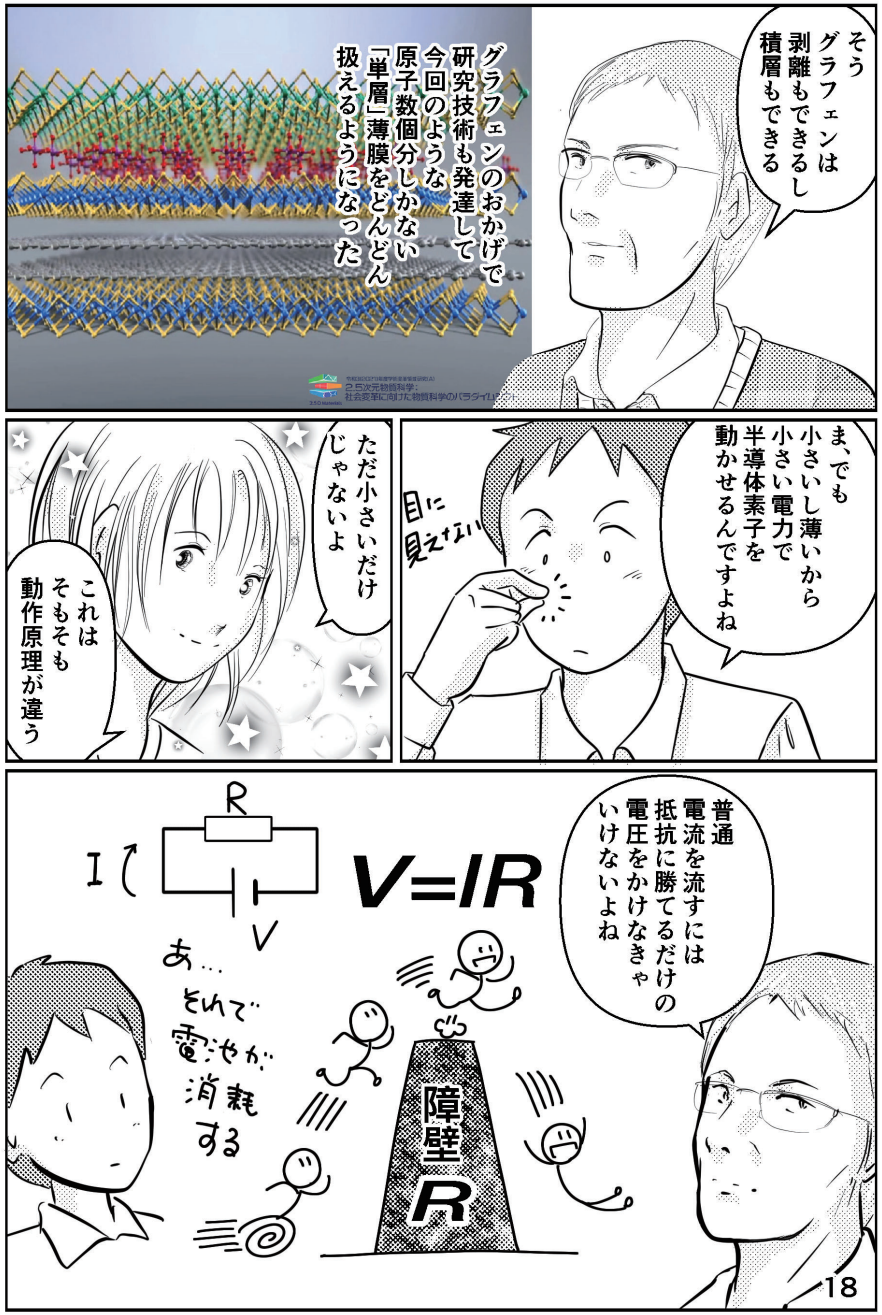
え？
薄いなんてもんじゃない
MoS2分子の
1個分の厚みしか
ないじゃないですか！


え？これってめちゃめちゃ小さいじゃないですか！
10μmって書いてありますけど
こんなのどうやって作るんですか？
10 μm
にっ！
やってみる？
彼女プロだからね
院生の弥生さん
あ…いや
墓穴を掘った！
しまった！
僕ぁ勉強して来いって言われただけ…
は、はぁ
ここで作ってるんだよ
え？顕微鏡で？
実際はモニターで見るんだけどね
13


すでに基板に二硫化モリブデンを貼り付けてあるから
この上に同じ二硫化モリブデンを貼り付ける作業をしてもらおうと思うんだ
つまりここの重なった部分を作るんだ
上のMoS2
下のMoS2
TG: Al
n-MoS2
h-BN
D: Ni/Au
SiO2
n+-Si
MoS2
上の基板を下げる
MoS2
少しずつ上の基板の方をずらして下のMoS2に重ねる！
上のMoS2
下のMoS2
ゲームのコントローラー？
はあ！逆！
お！もうちょっと
そりゃレンズで見てるんだからね
言われてみれば…
よっ！
ああー行き過ぎた
お、いい感じに真下に来た
慎重に上の基板を下げてよ
上のMoS2
下のMoS2
ん？今降ろしてる「だけ」ですよね
のりは？
14


先生 もう どうにかしてください こんな質問…
だから言った じゃないですか こんなの 庵渡研の恥さらし ですよ
くっつくんですか? 上の基板を上げたら せっかく重ねた 二硫化モリブデンも 離れるんじゃ?
のり!?
のり?
はあ!


まぁまぁ それが狙いだよ
みんな油断して 何でも話して くれるじゃないか
でも肝心なことは 聞いてませんよ
第1話より
それがくっつくんだな
グラフェンと グラフェンは どうやって くっついて いたかな?
へ?
あ、 ファンデルワールス力
積層方向は弱い 分子間力いわゆる ファンデルワールス力で 結びついている
今回は のり として使うの
弱い
弱い
…って ことは
MoS2間の力 = ファンデルワールス力 > 基板とMoS2間の力
…っつーことね
上に上げて基板だけはがす!
基板
パカッ
MoS2
ファンデルワールス結合
MoS2
基板
そう! 薄膜間のファン デルワールス力も 弱いんだから むしろ 離すときのほう が難しい
ゆっくりね
そー言われても…
むずい
16

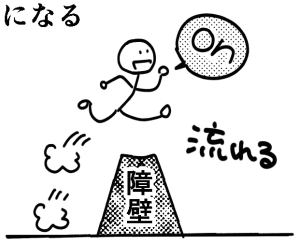

え～～
毎回こんな
大変なコト
しないと…
ヘロヘロ～
あれ？これって…
はがして
基板にくっつけて…
僕これ
やったぞ
あ、
グラフェンを
はがしたのと
同じだ
ゴシゴシ
キュッキュッ
10回目
第1話を見てね
17
ん？
ちょっと待って
別々にピントが
合うってことは…
クァクァ
ありゃ
一緒に
くっついて
上がって
きちゃった
もう一回
そぉぉぉぉーっと
そぉぉぉぉっと
ポヂポヂ
あ！
やったね
基板を上げても
ピントが
あったまんま！
OK！
成功！
やったぁ
目に見えない
ま、でも
小さいし薄いから
小さい電力で
半導体素子を
動かせるんですよね
ただ小さいだけ
じゃないよ
これは
そもそも
動作原理が違う
グラフェンのおかげで
研究技術も発達して
今回のような
原子数個分しかない
「単層」薄膜をどんどん
扱えるようになった
そう
グラフェンは
剥離もできるし
積層もできる
普通
電流を流すには
抵抗に勝てるだけの
電圧をかけなきゃ
いけないよね
V=IR
R
I
V
あ…
それで
電池が
消耗
する
障壁
R
18

これまでのトランジスタではどうやって電流を流すonと流さないoffを制御しているかと言うと

トランジスタ
ソース
ゲート
ドレン
on
off

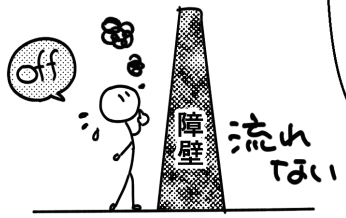
ゲート電圧を調節して障壁の高さを変えているんだ

電圧をかけて
障壁を低くしてやると
飛び越えてonになる



1信号

電子が障壁を
越えられない時はoff



0信号

でもっと消費電力を下げるためには0と1の切り替えを速くしたい

おっ

そこで…だ

そこで？

量子力学の原理を使うんだ

でた！リョーシ

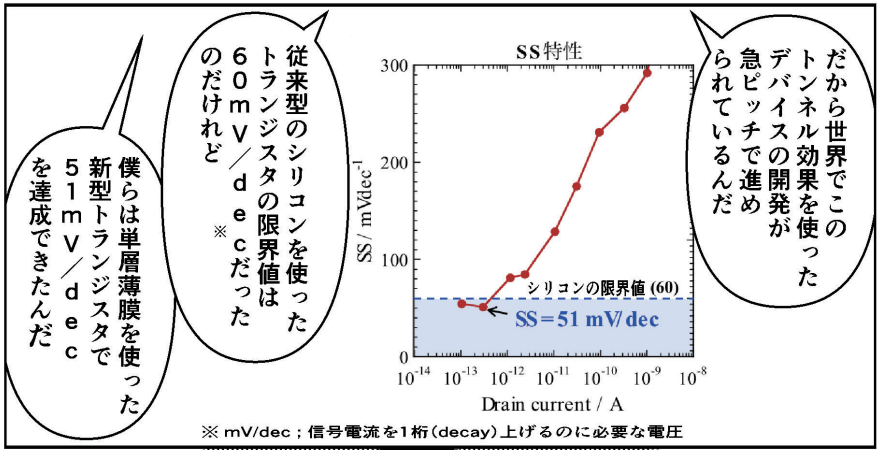




つまりトンネル効果を使うと超省電力な※半導体トランジスタができるんだよ

これをIoTセンサーに使えば世界はもっとビックデータの恩恵を受けられる

※トンネル電界効果トランジスタTFET

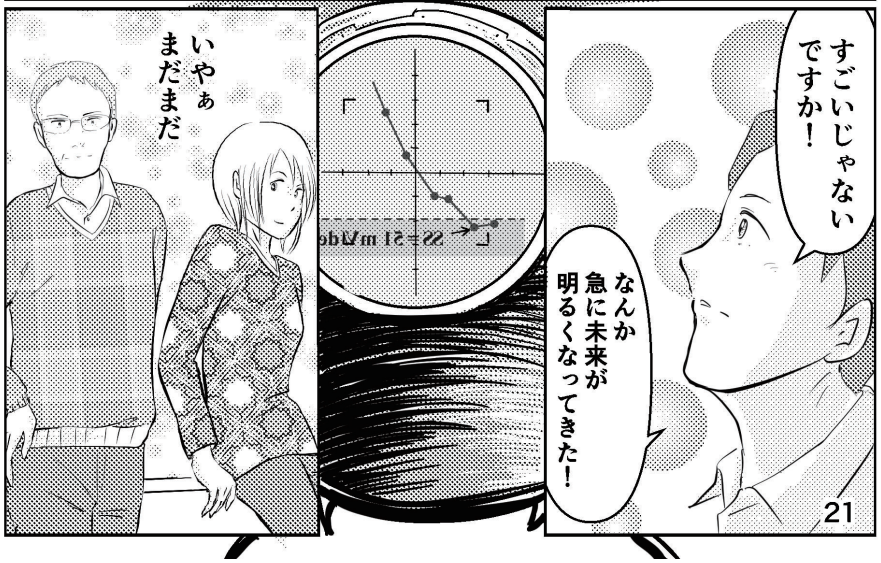


だから世界でこのトンネル効果を使ったデバイスの開発が急ピッチで進められているんだ

従来型のシリコンを使ったトランジスタの限界値は60mV／decだったのだけれど※

僕らは単層薄膜を使った新型トランジスタで51mV／decを達成できたんだ

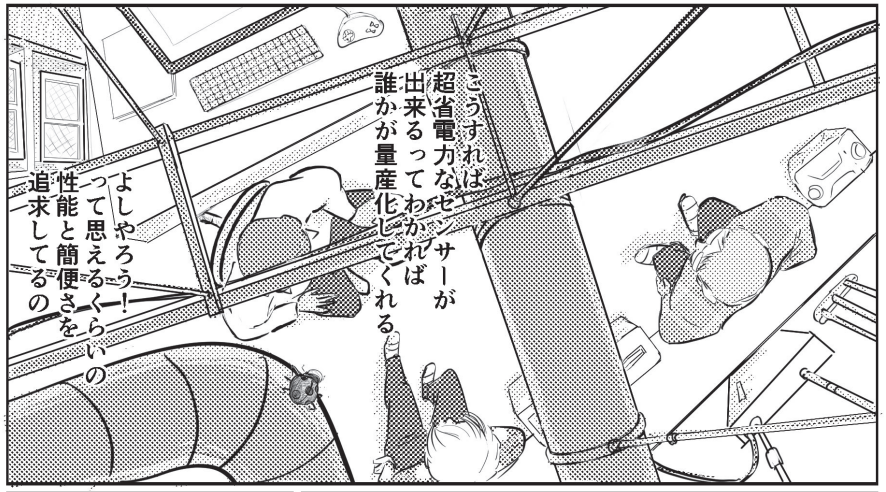
※mV/dec；信号電流を1桁(decay)上げるのに必要な電圧



すごいじゃないですか！

なんか急に未来が明るくなってきた！

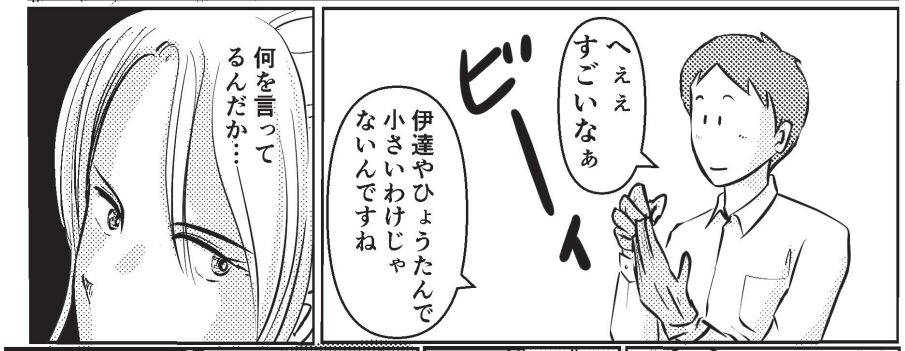
いやぁまだまだ



こうすれば超省電力なセンサーが出来るってわかれば誰かが量産化してくれる

よしやろう！

って思えるくらいの性能と簡便さを追求してるの

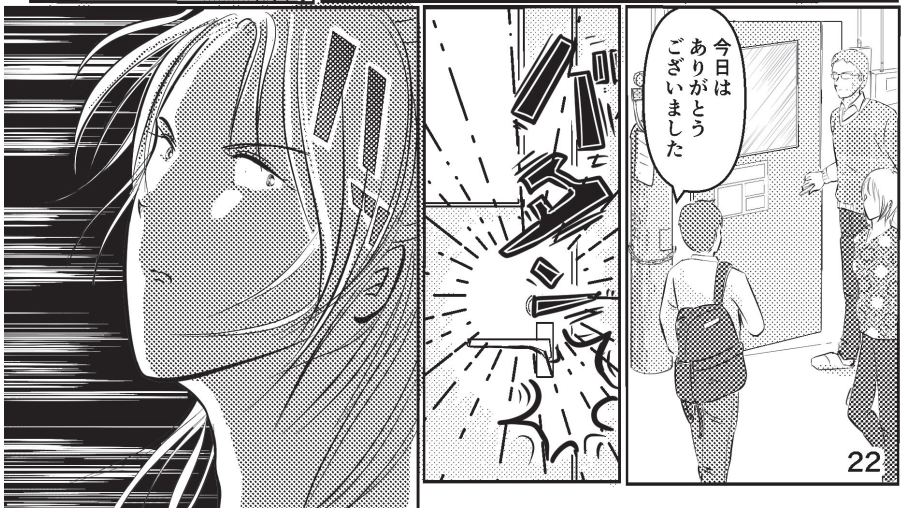


ビーィ

へぇぇすごいなぁ

伊達やひょうたんで小さいわけじゃないんですね

何を言ってるんだか…



今日はありがとうございました



第6話監修
A05班 長汐晃輔教授（東京大学
工学系研究科マテリアル工学専攻）
詳しくは https://25d-materials.jp

ⓒ もんでんひでこ

門田美子 神奈川工科大学 講師（物理）
領域広報担当 サイエンスコミュニケーター